Guillemin

Die physikalischen Kräfte

im Dienste der

Gewerbe, der Kunst und der Wissenschaft.

Nach A. Guillemin
für das Verständniß weiterer Kreise bearbeitet

von

Professor Dr. L. Rudolf Schulze,
Oberlehrer am königl. Realgymnasium zu Döbeln.

Zweite, revidirte und ergänzte Auflage.

Mit 416 Holzschnitten, 15 großen Abbildungen außerhalb des Textes
und 3 Buntdruckkarten.

Braunschweig,
Verlag von Otto Salle.
1889.

Vorwort
zur zweiten Auflage.

Sieben Weltwunder kannte die alte Welt und bis in die neueste Zeit hat sich der Glaube erhalten, daß diese Werke im Verein mit den Bauten, welche das Volk der Römer ausgeführt hat, das Großartigste sei, was je geleistet worden ist und geleistet werden könne: und doch, wie verschwinden diese Wunder gegenüber den Leistungen des letzten Jahrhunderts, was sind Pyramiden und Labyrinthe im Vergleiche mit der Untertunnelung der Gebirgsstöcke, was die Römerstraßen gegen das Eisenbahn- und Telegraphennetz, das jetzt die Länder umspannt? Nimmt man hierzu, daß für die Herstellung der Werke des Alterthums die Sklaverei die nothwendige Voraussetzung war, während in unseren Tagen freie Arbeiter die Gedanken geistvoller Männer zur Ausführung bringen: dann darf man sich nicht wundern, daß immer weitere Kreise ein stets wachsendes Interesse gewinnen, zu erfahren, wie es dem Menschengeiste gelungen ist, die Kräfte der Natur sich dienstbar zu machen. Mit dieser Frage beschäftigt sich nun auch das vorliegende Werk, indem es eine Reihe von Erfindungen dem Leser in Wort und Bild so vor Augen führt, daß wohl Jeder ein Verständniß gewinnen kann, auch wenn er nicht mit besonderen Schulkenntnissen ausgerüstet an dasselbe herantritt, daß aber auch derjenige, welcher mit den Grundlehren der Physik vertraut ist, doch vielleicht manche Anwendung der Naturkräfte in ihm findet, die sein Interesse erweckt. Was Guillemin im Originalwerke geboten hat, das hat der Herausgeber fast durchgängig in freier Bearbeitung beibehalten: so wie er aber beim ersten Erscheinen an verschiedenen Stellen mancherlei eingefügt hat, wie namentlich das Telephon, den Phonographen und das Mikrophon, so sind auch jetzt besonders die Apparate neu hinzugekommen, durch welche die starken Ströme, mit denen man in neuerer Zeit arbeitet, erzeugt werden.

Möge das Werk von Neuem dem geneigten Leser freundlich empfohlen sein.

Döbeln, Herbst 1888.

Der Herausgeber.

Inhalt.

Erstes Buch. Die Schwerkraft.

Zweites Buch. Der Schall.

Drittes Buch. Das Licht.

Viertes Buch. Die Wärme.

Fünftes Buch. Magnetismus und Elektricität.

Verzeichniß

der Abbildungen außerhalb des Textes.

Die

Physikalischen Kräfte.

Erstes Buch.

Die Schwerkraft.

Alle uns umgebenden Körper, mögen sie sich im festen, tropfbar flüssigen oder luftförmigen Zustande befinden, stehen ohne Unterbrechung unter dem Einflusse der Schwerkraft, welche ihnen beständig eine Bewegung in der Richtung nach dem Erdmittelpunkte zu ertheilen strebt, oder, wenn sich dieser Bewegung ein Hinderniß entgegenstellt, bewirkt, daß sie gegen dieses Hinderniß einen Druck ausüben, den wir als ihr Gewicht bezeichnen. Wo wir daher bei den verschiedenartigen Beschäftigungen des menschlichen Lebens irgend welche Körper in Bewegung versetzen oder im Zustande des Gleichgewichts erhalten wollen, da müssen wir auch immer jene Wirkungen der Schwerkraft mit in Rechnung ziehen. So könnten besonders alle Bauwerke, wie Denkmäler, öffentliche und private Gebäude, Brücken, Wasserleitungen, alle Einrichtungen, die der Beförderung der Waaren zu Wasser und zu Lande dienen, alle Maschinen, Apparate und Werkzeuge jeder Art als ebensoviele Anwendungen der Physik angesehen werden, namentlich der Gesetze, nach denen die Schwerkraft wirkt.

Allein man wird leicht begreifen, daß es nicht in unserer Absicht liegen kann, ein so weites Gebiet in das Bereich unserer Betrachtungen herein zu ziehen, sondern wir wollen den Begriff der Physik, deren Anwendungen uns beschäftigen sollen, etwas enger fassen: wir werden uns mithin auf diejenigen Anwendungen beschränken, bei denen das nutzbar gemachte Princip selbst dieser Wissenschaft entlehnt ist, bei denen

nur solche Kräfte zur Verwendung kommen, deren Kenntniß sie uns durch das Studium der Erscheinungen, in denen sie sich kund geben, vermittelt; die zahlreichen Anwendungen dagegen, welche ausschließlich dem Gebiet der Mechanik angehören, lassen wir unberücksichtigt. Diese Bemerkung mag für alle Theile der Physik gelten; was aber speciell den Gegenstand des ersten Buches, nämlich die Schwerkraft, betrifft, so werden wir nur solche Instrumente oder Maschinen auswählen, bei denen die Einwirkung dieser Kraft unmittelbar zur Anwendung kommt, indem sie z. B. die Körper nach einer ganz bestimmten Richtung hin zieht, indem sie einem frei herabfallenden Körper eine gewisse lebendige Kraft ertheilt, vermöge deren er eine Arbeit leisten kann, indem sie das Pendel in Schwingungen von gleicher Dauer versetzt, indem sie den Druck der Luft hervorruft, u. s. w. Ferner werden wir uns auf diejenigen Anwendungen beschränken müssen, welche die größte praktische Bedeutung erlangt haben, deren Mitwirkung bei den Umwandelungen des socialen Lebens am augenfälligsten ist, sowie auf diejenigen, welche ein besonderes Interesse gewähren, indem sie die Wahrheiten der Wissenschaft in das hellste Licht setzen. Eine große Zahl dieser Anwendungen ist schon von den Zeiten des höchsten Alterthums her bekannt, andere dagegen sind neueren Datums: wir werden beide in Betracht ziehen, uns aber besonders bemühen, die neueren Verbesserungen, die an den Vorrichtungen angebracht worden sind, dem Leser vorzuführen.

Ueberblickt man den geschichtlichen Gang der Entwickelung, so bemerkt man leicht, daß häufig die Anwendungen der Wissenschaft auf Gewerbe und Künste und die Erfindungen, durch welche die reine Wissenschaft selbst gefördert werden sollte, in stetem Wechsel auf einander folgen: bald wurde die Entdeckung eines physikalischen Gesetzes durch eine rein empirische Untersuchung herbeigeführt, welche einzig die Vervollkommnung eines Gewerbes oder eines einzelnen industriellen Vorganges zum Ziele hatte; umgekehrt sind wieder Erfindungen, welche für das Aufblühen der Industrie die größte Wichtigkeit erlangt haben, ganz allmählich aus dem experimentellen oder mathematischen Nachweise irgend einer rein wissenschaftlichen Wahrheit entsprungen. Wir glauben auf diese gegenseitige Wechselwirkung besonders aufmerksam machen zu müssen, da sie für die Beurtheilung der Geistesthätigkeit von besonderer Wichtigkeit ist, und wir möchten die Gelegenheit wahrnehmen, unsere Leser vor zwei

einander entgegengesetzten, aber gleich irrigen Ansichten zu warnen: einmal vor der Einbildung der Leute, welche im Bewußtsein ihres praktischen Wissens und ihrer Geschicklichkeit und Anstelligkeit mit einem gewissen Mißtrauen auf die Theorie und reine Wissenschaft blicken; anderntheils aber auch vor dem Hochmuthe derer, die von der Höhe der Wissenschaft herab mit Verachtung auf die Erfahrungen sehen, welche die Männer der Praxis im Getriebe des Gewerbes und der Industrie gewonnen haben: Erfahrungen, welche häufig einen sehr bedeutenden wissenschaftlichen Werth haben, wenn sie auch nicht auf dem Wege der reinen Speculation erlangt worden sind.

Nachdem wir diese Bemerkungen ein für allemal vorausgeschickt haben, wenden wir uns nun zum Gegenstande unserer Aufgabe selbst.

Erstes Kapitel.

Richtung der Schwere. — Fall der Körper. — Schwingungen des Pendels.

§ 1. Bleiloth und Niveau.

In verschiedenen Gewerben, besonders aber in der Baukunst, kommt es sehr häufig darauf an, daß man gerade Linien oder Ebenen in solche Lagen bringt, daß ihre Richtung entweder mit der senkrechten Richtung, d. h. derjenigen, die nach dem Erdmittelpunkte hinweist, oder mit der horizontalen Richtung, welche mit der vorigen rechte Winkel bildet, genau zusammen fällt; und ebenso häufig kommt es vor, daß man bereits vorhandene Linien und Ebenen auf die eine oder andere Lage hin zu prüfen hat. Man führt diese Prüfung aus mit Hilfe von Werkzeugen, die man allgemein als Bleiloth und als Niveau bezeichnet, und deren Anwendung auf dem bekannten Satze beruht, daß ein frei hängender Faden, welcher durch ein Gewicht gespannt wird und sich in Ruhe befindet, genau die Richtung der senkrechten Linie für den Ort, an welchem man die Beobachtung anstellt, annimmt.

Die einfachste Form des Bleilothes, dessen sich die Maurer gewöhnlich bedienen, besteht in einem Faden, welcher ein cylindrisches Metall=

gewicht trägt. Ueber dem Gewichte befindet sich eine quadratische in ihrer Mitte durchbohrte Metallplatte, deren Durchmesser mit dem des Cylinders übereinstimmt, und die sich an dem Faden auf- und abschieben läßt. Will man mit diesem Instrument prüfen, ob eine Mauer senkrecht errichtet ist, so legt man die Metallplatte mit einer Seite gegen die Fläche und schiebt sie darauf nach aufwärts und abwärts oder man läßt den Faden weiter durch sie hindurch gleiten. Das Resultat der Prüfung ist als ein günstiges zu bezeichnen, wenn sich der Metallcylinder bei jeder einzelnen Stellung weder zu fest an die Mauer anlegt, noch auch von ihr so weit entfernt, daß ein merklicher Zwischenraum frei bleibt.

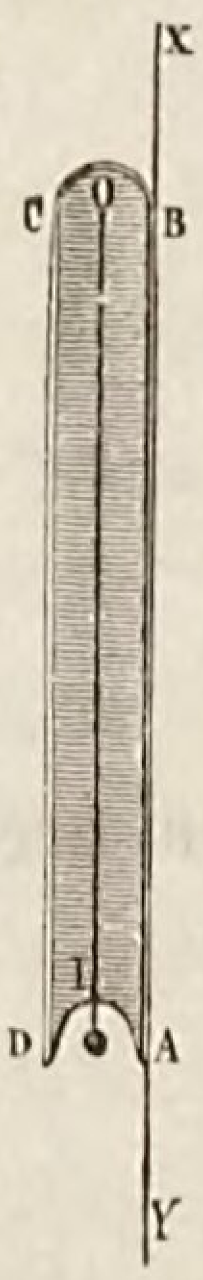


Fig. 1. Lineal mit Loth.

Bequemer zu handhaben ist das Lothlineal (Fig. 1), ein Lineal mit genau parallelen Kanten AB und CD, auf welchem in der Mitte eine Linie OI eingerissen ist, die den Kanten ebenfalls parallel läuft und Richtlinie heißt. Im Punkte O ist ein Faden befestigt, welcher an seinem Ende eine Bleikugel trägt. Man legt das Lineal mit der einen Kante AB gegen die zu prüfende Mauer, sodaß der Faden nahe am Lineal freihängt, und beobachtet, ob sich derselbe genau in der Richtung der Linie OI einstellt. Hierauf wiederholt man dasselbe Verfahren nur mit dem Unterschiede, daß man die andere Kante CD anlehnt.

Will man prüfen, ob eine Ebene horizontal ist, so bedient man sich der Setzwage (Fig. 2), eines Instrumentes, dessen Gebrauch aus der beistehenden Abbildung sofort ersichtlich ist. Wir wollen daher nur die Verbesserungen erwähnen, welche das Instrument geeignet machen, die Neigung nicht horizontaler Ebenen zu bestimmen. Bei diesem feineren Instrumente, welches man auch mit dem

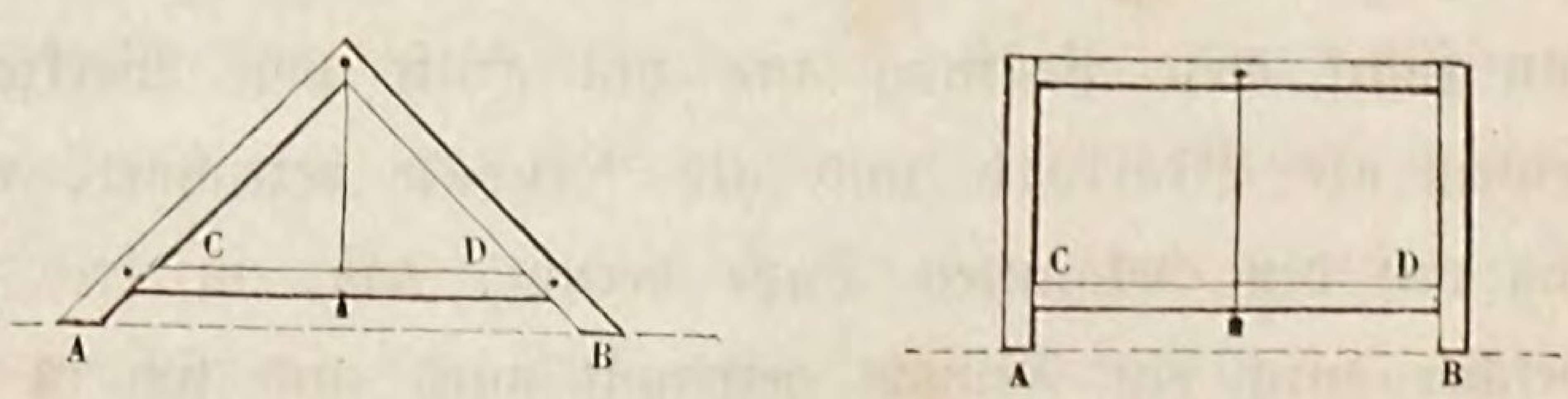


Fig. 2. Setzwage.

Namen eines Niveau (Fig. 3) bezeichnet, ist an Stelle des Fadens ein Lineal angebracht, welches um den Punkt O drehbar ist und dessen unteres Ende auf einen getheilten Kreisbogen schleift. Die Ablesung

auf dem Theilkreise ergiebt sofort die Größe des Winkels POR, den das Lineal OP mit der Mittellinie OR bildet: dieser Winkel ist aber, wie man leicht sieht, ebenso groß, als der Winkel BAH, unter welchem die Fläche, auf die das Niveau aufgesetzt wurde, gegen die horizontale Ebene geneigt ist. Solcher Instrumente bediente sich Delambre bei den von ihm geleiteten Messungen, durch welche die Länge des Meridianes

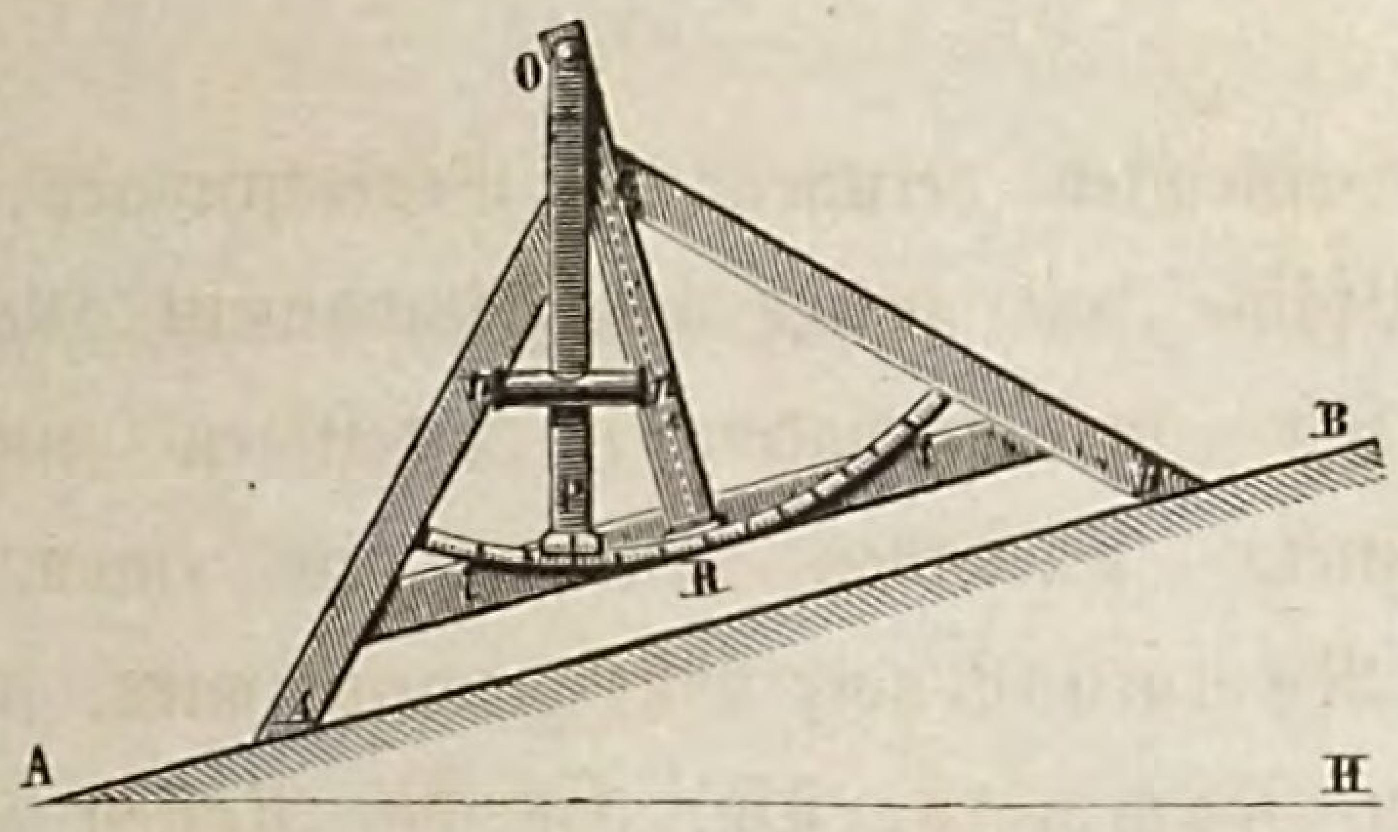


Fig. 3. Niveau nach Delambre.

bestimmt wurde, um mit ihrer Hilfe die Neigung der Maßstäbe zu bestimmen, mit welchen er seine Grundlinien maß.

Von einigen anderen Instrumenten, die demselben Zwecke dienen, nämlich Wasserwage und Libelle, werden wir später sprechen, da das eine derselben auf dem Gleichgewichte einer Flüssigkeit in communicirenden Gefäßen, das andere auf dem Verhalten der Flüssigkeiten von verschiedener Dichtigkeit, welche in demselben Gefäße eingeschlossen sind, beruht.

§ 2. Die Ramme.

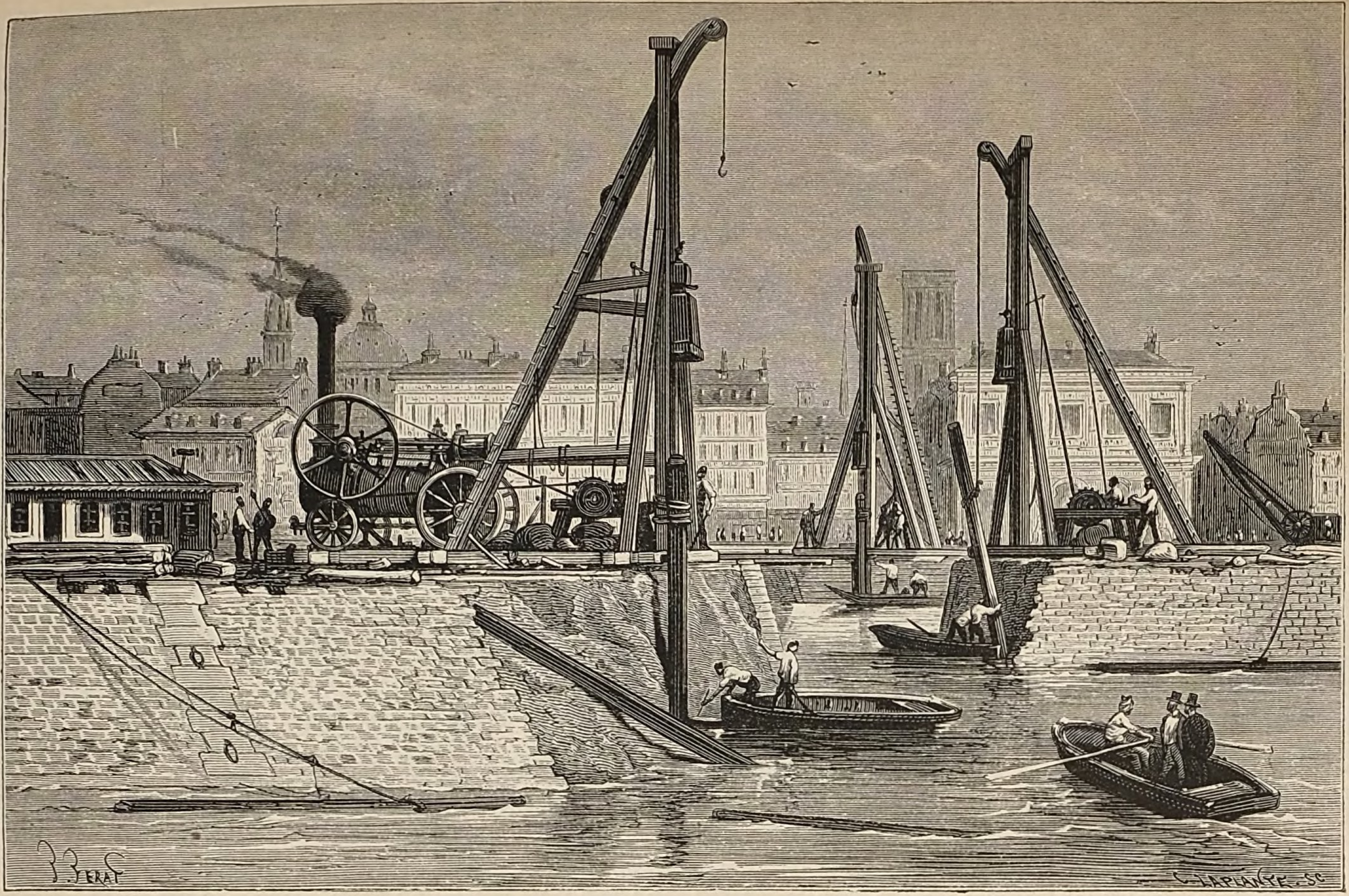
Wenn eine schwere Masse aus der Höhe herabfällt, so bewegt sie sich, wie in der Physik nachgewiesen wird, mit immer wachsender Geschwindigkeit, und zwar ist das Quadrat der erlangten Geschwindigkeit der gesammten Fallhöhe proportional, sodaß man den Körper aus der vier-, neun-, sechzehnfachen Höhe u. s. w. herabfallen lassen muß, wenn die Geschwindigkeit, die er am Schlusse seiner Bewegung erlangen soll, doppelt, dreimal, viermal so groß werden soll. Andererseits besitzt eine einmal in Bewegung versetzte Masse auch die Fähigkeit, noch weiter eine bestimmte Arbeit zu verrichten, bevor die Kraft, die ihr infolge der einmal erlangten Bewegung innewohnt, und die man in der Mechanik als ihre

lebendige Kraft bezeichnet, erschöpft ist: die Größe dieser lebendigen Kraft aber ist, wie die Mechanik lehrt, einestheils von dem Gewichte der bewegten Masse, anderntheils aber ebenfalls von dem Quadrate der erlangten Geschwindigkeit abhängig, folglich nach dem oben Gesagten mit der Fallhöhe proportional. Fällt also z. B. ein Körper aus der vierfachen Höhe herab, so ist seine Geschwindigkeit zwar nur doppelt, seine lebendige Kraft aber ebenfalls wieder viermal so groß, als bei einfacher Fallhöhe.

Auf diesen Principien beruhen die Vorrichtungen, deren man sich bedient, um die Pfähle, auf welche das Fundament aller Uferbauten gegründet werden soll, im Erdboden zu befestigen, und die man als Rammen bezeichnet. Dieselben bestehen aus einem schweren Klotz, welcher Ramme, Rammbock oder Bär genannt wird, und einem Gerüst aus Balken, dem Rammelgerüst, das die Rollen und Seile trägt, durch welche der Rammbock gehoben wird, sowie die Führung, längs deren er herabfällt.

Tafel I zeigt uns mehrere Rammen in Thätigkeit, und wir wollen jetzt an deren Betrachtung die Erklärung der Vorgänge bei ihrem Gebrauche anknüpfen. Zunächst kommt es darauf an, die Pfähle, die entweder auf dem Lande oder auf Kähnen herbeigeschafft sind, im Wasser aufzurichten und in die rechte Lage zu bringen. Hierzu bedient man sich des Rammelgerüstes wie eines Krahnes: der Rammbock hängt ruhig an dem Balken, der seine Führung trägt, wie an dem in der Abbildung rechts aufgestellten Gerüste zu sehen ist, und der Pfahl ist an das Seil angeschleift, das über die Rolle am oberen Theile hinweggeht und durch eine Winde angezogen wird. Sobald der Pfahl in die richtige Stellung gebracht ist, befestigt man das eine Ende des Seiles am Rammbock, am anderen Ende aber bringt man so viele einzelne Seile mit Handgriffen an, als Arbeiter bei dem Werke angestellt sind. Die Arbeiter ziehen nun mit vereinten Kräften, wie an der Ramme im Hintergrunde der Abbildung zu sehen ist, den Bock in die Höhe, so weit es ihnen möglich ist, und lassen dann auf ein Zeichen, das ihnen von einem Aufseher gegeben wird, gleichzeitig die Seile locker, sodaß nun der Bock mit voller Wucht auf den Pfahl herabfällt und ihn in den Boden eintreibt.

Sollen die Pfähle sehr tief eingerammt werden, oder leistet der Boden sehr großen Widerstand, so genügt diese einfachere sogenannte



Kunstramme und Handramme.

Zugramme nicht, da bei ihr höchstens eine Fallhöhe von 1 bis 1,2 m. angewendet werden kann: man muß dann die auf der linken Seite der Abbildung dargestellte Kunst= oder Hakenramme mit Selbstauslösung anwenden, die zwar etwas langsamer arbeitet, aber eine viel größere Kraft entwickelt, weil bei ihr der Bock bis zu einer Höhe von etwa 2,5 bis 6 m. erhoben werden und auch ein viel bedeutenderes Gewicht besitzen kann. Man wendet bei ihr Böcke bis zu 600 Kg. an, während der Bock der einfachen Ramme nur etwa 2—300 Kg. schwer ist.

Der Haupttheil dieses Instruments besteht in der Auslösung, welche wir nach Fig. 4 besonders besprechen wollen. Wir sehen daselbst eine starke Zange, die sich oben öffnet und den Rammbock, welchen sie an einem Ringe gehalten hatte, fallen läßt. Befindet sich diese Zange in einer tieferen Stellung zwischen den beiden Laufschienen der Führung, als hier dargestellt ist, so werden ihre beiden Griffe durch starke Federn, die man zwischen ihnen liegen sieht, nach Außen gedrängt, sodaß das Maul geschlossen bleibt: wenn daher der Ring des Rammbockes innerhalb des Maules liegt, so läßt ihn die Zange jetzt nicht fallen, sondern erhebt ihn mit sich, so wie sie selbst durch das Seil in die Höhe gezogen wird. Nun verengert sich aber das obere Ende der Führung kegelförmig, und es werden sich die gebogenen Griffe der Zange gegenseitig nähern müssen, sobald die Zange bis zu dieser Höhe gelangt ist, wie wir in der Abbildung sehen: dadurch öffnet sich das Maul und der Bock fällt frei herab. Läßt man nun das Seil wieder bis zum Bocke herabgleiten, so schiebt sich der Ring desselben zwischen den Lippen der Zange, die zu diesem Behufe abgeschrägt sind, hindurch und wird von ihr wieder mit gehoben. Das Seil kann hierbei durch ein Wellrad aufgewunden werden: bei größeren Bauten läßt man es aber jetzt häufig durch eine Locomobile regieren.

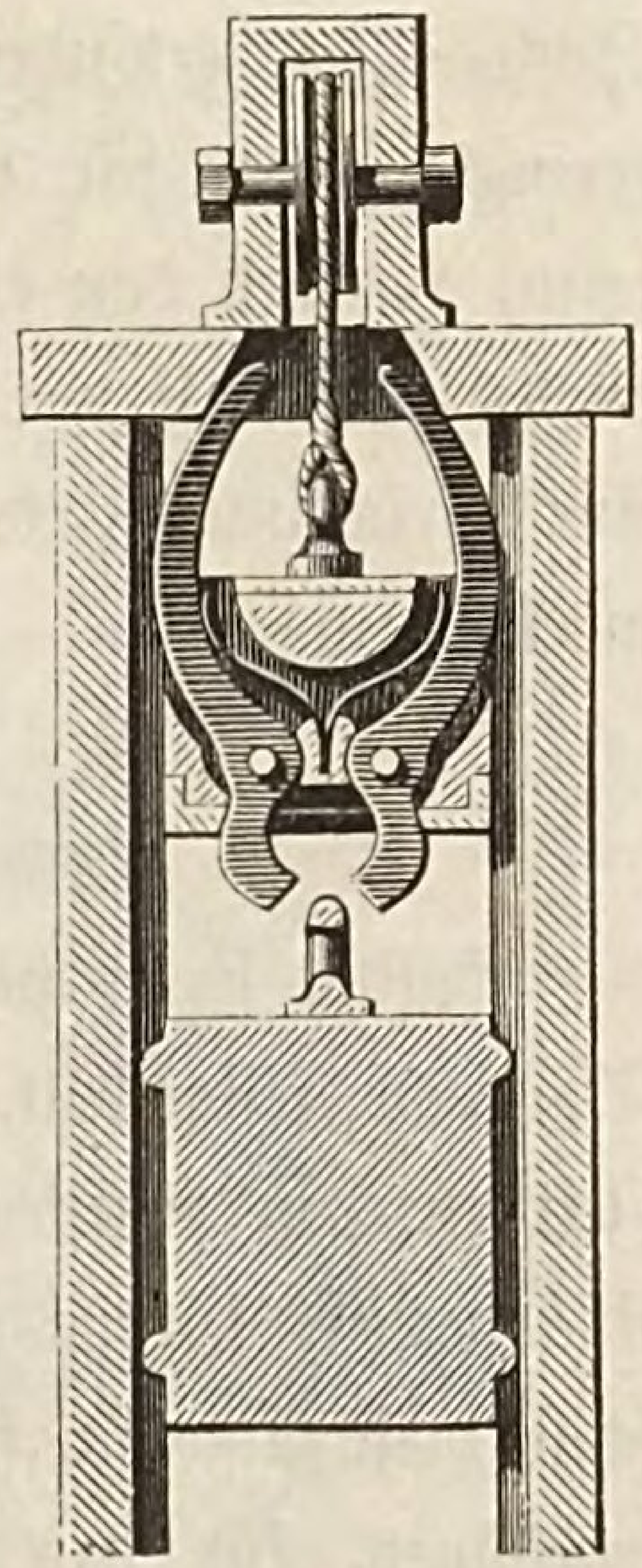


Fig. 4. Auslösung des Rammbockes.

Auch beim Dampfhammer ist es die lebendige Kraft einer aus der Höhe herabfallenden Masse, welche eine gewaltige Wirkung hervorbringt; allein von diesem Instrumente werden wir erst im vierten Buche sprechen,

da bei ihm zum Aufheben der Masse die Dampfkraft zur Anwendung kommt, während seine eigentliche Wirkung nur durch die Schwerkraft hervorgerufen wird.

Wenn die Ramme niederfällt, so bringt sie außer der beabsichtigten mechanischen Wirkung noch eine andere hervor: sie erzeugt nämlich Wärme, also eine lebhafte Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper; und zwar erhitzt sich sowohl die Ramme selbst, als auch der Kopf des Pfahles, auf den sie niederfällt, und der eiserne Ring oder Bügel, welcher um denselben gelegt ist, um das Zersplittern durch die heftigen Schläge zu verhindern. Man sieht, daß nicht die volle durch den Fall erzeugte Kraft für das Einrammen der Pfähle nutzbar gemacht werden kann, sondern daß ein Theil derselben durch Nebenwirkungen aufgebraucht wird, ohne daß wir aus denselben irgend welchen Nutzen ziehen könnten: eine Erscheinung, die sich bei allen Anwendungen der Naturkräfte bemerklich macht.

§ 3. Das Pendel.

Galilei hatte zuerst durch eine lange Reihe von Untersuchungen die Thatsache festgestellt, daß die Schwingungen eines Pendels immer dieselbe Zeitdauer in Anspruch nahmen, vorausgesetzt, daß der Ausschlagswinkel eine gewisse Größe nicht überschritt, und derselbe Naturforscher versuchte schon diese Eigenschaft, welche man als den Isochronismus des Pendels bezeichnet, für das Messen kleiner Zeiträume zu benutzen. Aber die Anwendung, welche er machte, beschränkte sich auf das Zählen der Schläge, welche der Puls in einer gewissen Zeit ausführt, und das Instrument, welches er construirte und welches man als einen Pulszähler bezeichnet, besteht einfach nur aus einem Pendel; dasselbe läßt sich aber nicht zu Beobachtungen von großer Genauigkeit verwenden.

Erst längere Zeit nach seinem Tode gelang es im Jahre 1656 dem holländischen Mathematiker Huyghens den Isochronismus des Pendels für die Regulirung der Uhrwerke nutzbar zu machen, nachdem bereits seit mehr als dreihundert Jahren zur Zeitmessung Räderwerke verwendet wurden, welche aber nur sehr ungenaue Resultate ergeben konnten, weil es an einem Regulator fehlte, welcher den Gang der einzelnen Theile zu einem gleichmäßigen macht. Erst durch die Entdeckung des genannten Physikers ließen sich Uhrwerke herstellen, deren Angaben eine größere

Zuverlässigkeit besitzen, und die im Wesentlichen folgende Einrichtung haben.

Als bewegende Kraft wirkt bei den Uhrwerken entweder der Zug eines Gewichtes, das unter dem Einfluß der Schwerkraft herabsinkt und dabei mittels eines Faden, an dem es hängt, die Achse eines Zahnrades in beständige Umdrehung versetzt: oder auch die Spannung einer spiralförmig aufgewundenen Stahlfeder, welche sich allmählich aufrollt und dabei in ähnlicher Weise die Drehung eines Rades bewirkt. Die zuerst in Umdrehung versetzten Räder greifen in andere Getriebe und Räder ein und übertragen so schließlich ihre Bewegung auf die Zeiger, durch deren Gang das Fortschreiten der Zeit gemessen wird. Aber das

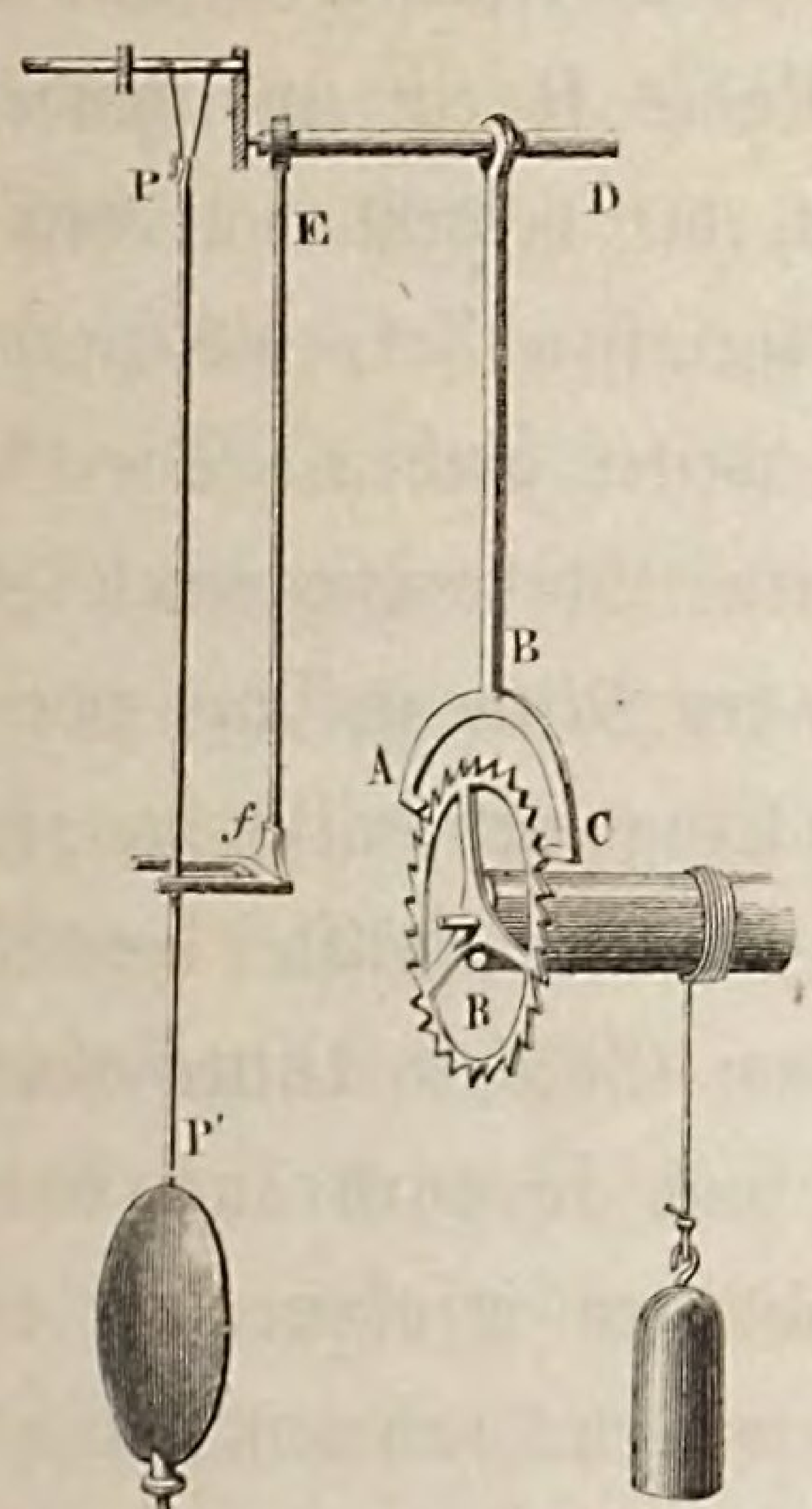


Fig. 5. Mechanismus des Uhrpendels.

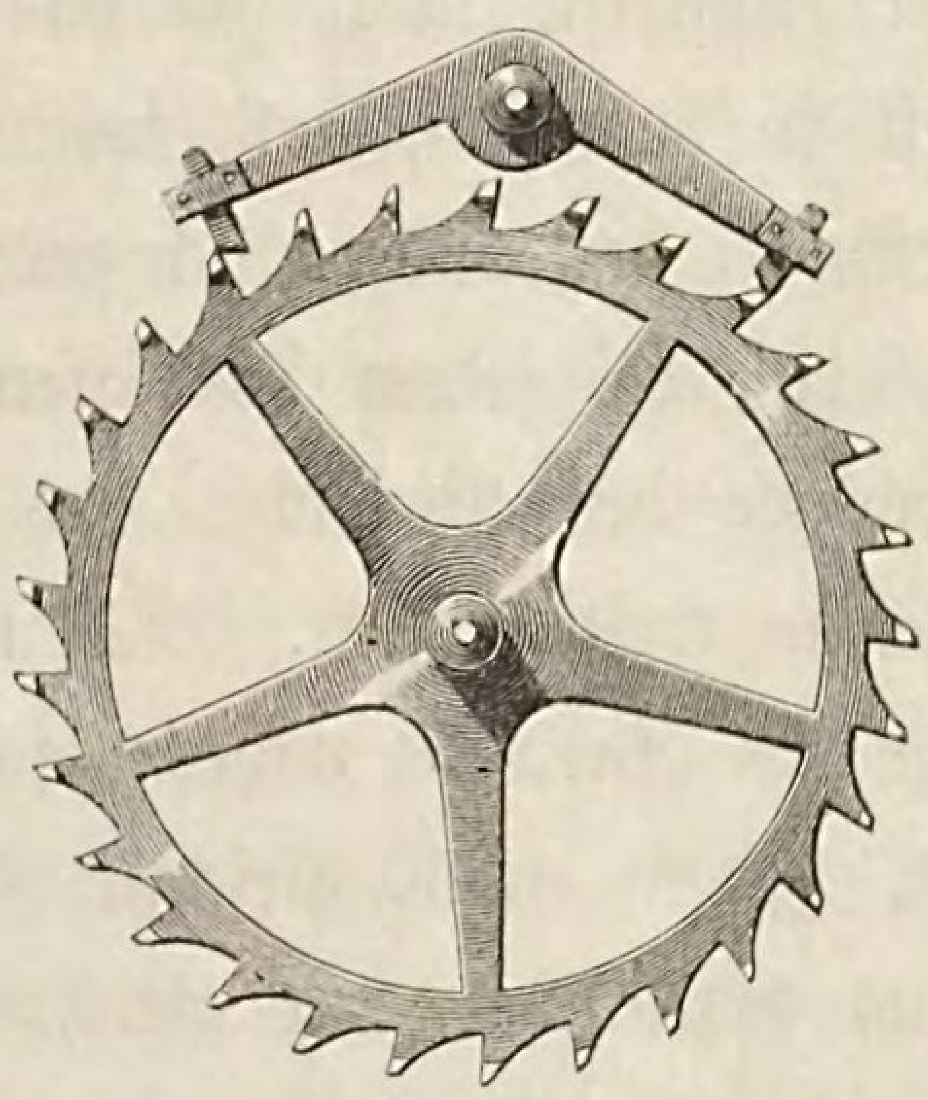


Fig. 6. Hemmung durch den Anker.

herabfallende Gewicht würde infolge der Gesetze, nach denen die Schwerkraft wirkt, in immer größere Geschwindigkeit gerathen, die Spiralfeder dagegen würde, je mehr sie sich entrollt und dadurch an Spannung verliert, auch um so weniger stark ziehen, und mithin müßten in beiden Fällen die Räder mit wechselnder Geschwindigkeit umlaufen, wenn man es nicht verstanden hätte, durch eine theilweise Verwandlung der fortschreitenden in eine oscillirende Bewegung den Gang zu einem regelmäßigen zu machen. In welcher Weise dies auszuführen ist, läßt sich aus Fig. 5 erkennen.

Wir sehen zunächst, wie das Seil des Gewichtes an einer Welle

befestigt ist, die an dem einen Ende ein Rad R mit schräg gestellten Zähnen trägt, in welche das Pendel eingreift. Am anderen Ende befindet sich ein Getriebe, durch welches das weitere System der Räder in Umdrehung versetzt wird: der Einfachheit wegen haben wir diesen Theil des Uhrwerkes in der Abbildung weggelassen und uns auf die Theile beschränkt, welche das Eingreifen des Pendels PP' zur Anschauung bringen. Ueber die Pendelstange greift zunächst eine kleine Gabel F über, welche durch einen Stab mit der Axe ED in Verbindung steht, sodaß sich letztere beim Schwingen des Pendels mit dieser gleichzeitig hin- und herbewegen muß: diese Axe aber trägt einen Haken ABC, der wegen seiner Gestalt der Anker genannt wird. So wie nun das Pendel hin- und herschwingt, greift abwechselnd der Vorsprung A und der Vorsprung C des Ankers in die Zähne des Rades R ein und hindert dessen Umdrehung, und nur in der kurzen Zeit, die vergeht von dem Augenblick an, in dem der eine Vorsprung losgelassen hat, bis zu dem, wo der andere eingreift, kann sich das Rad weiter drehen. Die Größe des Ankers ist so bemessen, daß, wenn der eine Vorsprung einen Zahn des Rades festhält, der andere sich gerade in der Mitte zwischen zwei Zähnen befindet, sodaß bei jedem Loslassen und Eingreifen, also bei jedem einzelnen Schlage des Pendels, das Rad um die Hälfte des Abstandes zweier Zähne weiter rückt. Da nun nach Galileis Untersuchungen die Ausschläge des Pendels nahezu isochron sind, so wird auch das Weiterrücken der Zähne nach gleichen Zeitabschnitten erfolgen und damit die Umdrehung des Rades eine gleichmäßige werden: nehmen wir z. B. an, das Rad R habe 30 Zähne und das Pendel brauche zu einem Ausschlage 1 Secunde, ein Fall, der eintritt, wenn seine Länge 994 mm. beträgt, so wird eine volle Umdrehung genau die Zeit einer Minute in Anspruch nehmen.

Das schwingende Pendel würde infolge der starken Reibung in den Axenlagern, die es beständig zu überwinden hat, sowie des Widerstandes der Luft sehr bald zur Ruhe gelangen, wenn seine Bewegung nicht immer durch eine thätige Kraft von Neuem belebt würde: diese Kraft aber wird ebenfalls von dem herabgleitenden Gewichte der Uhr ausgeübt. Die Zähne des Ankers sind nämlich, wie man aus Fig. 6 ersieht, so abgeschrägt, daß die Zähne des Rades in dem Augenblicke, wo die Auslösung erfolgt, längs einer schiefen Ebene an ihnen weiter gleiten und

sie dadurch nach Oben drücken, sodaß das Pendel bei jeder einzelnen Auslösung einen neuen Anstoß erhält und so lange fortschwingt, bis sich die Gewichtsschnure von der Walze vollständig abgewickelt hat oder das Gewicht auf den Fußboden auftrifft. Das Rad, in welches der Anker eingreift, heißt Steigrad und die ganze Vorrichtung Hemmung der Uhr.

Bei den Taschenuhren, an denen sich natürlich ein Pendel nicht anbringen läßt, wird dasselbe durch ein kleines Rad, die Unruhe, ersetzt, dessen Axe durch eine feine Spiralfeder immer in eine bestimmte Mittellage zurückgeführt wird; von dieser Lage aus macht es nach beiden Seiten hin Oscillationen, die mit bestimmter Geschwindigkeit auf einander folgen. Also nicht allein als Triebkraft tritt hier an Stelle der Schwerkraft die Elasticität einer durch das Aufziehen gespannten Feder, sondern dasselbe Princip bewirkt auch die Regulirung des Ganges.

Durch das Pendel wird also, wie wir oben gesehen haben, die Umdrehung der Welle, welche ohne Hemmung in ununterbrochenem, aber beständig beschleunigtem Lauf erfolgen würde, in eine Reihe von Bewegungen zerlegt, die immer nach gleichen Zeiträumen erfolgen müssen, vorausgesetzt, daß die Schwingungen wirklich genau isochron sind. Da nun aber das Pendel vom Steigrade immerzu neue Anstöße erhält, so kann es auch leicht geschehen, daß sich die Größe seines Ausschlages ein wenig ändert: das Gesetz des Isochronismus aber gilt nur für sehr kleine Ausschläge, für größere dagegen wächst die Dauer einer Schwingung mit dem Ausschlage und der Gang der Uhr kann doch zu einem unregelmäßigen werden, auch ohne daß sich die Länge des Pendels ändert. Dieser Uebelstand würde sich, wie Huyghens durch mathematische Entwickelungen gefunden hat, vermeiden lassen, wenn es gelänge, die Pendellinse, welche sich beim gewöhnlichen Pendel auf einem Kreisbogen bewegt, zu zwingen, den Bogen einer gewissen anderen krummen Linie, der Cycloide, zu beschreiben. Von der Gestalt der genannten Linie kann man sich leicht eine Vorstellung verschaffen, wenn man den Weg verfolgt, den ein Nagel im Umfange eines Wagenrades beschreibt, während der Wagen auf einer Ebene weiter fährt: von dem Augenblicke an, in dem der Nagel auf dem Wege aufliegt, wird er sich senkrecht erheben, wird aber bald in schräger Richtung aufsteigen, bis er seinen höchsten Punkt erreicht, sobald das Rad eine halbe Umdrehung gemacht hat; von da an

senkt er sich wieder und trifft nach Vollendung der ganzen Umdrehung wieder senkrecht auf den Erdboden.

Giebt man nun zwei festen Platten die Form von Cycloiden, befestigt dieselben nebeneinander so, daß sie sich berühren und daß die Bogen nach Unten gerichtet sind, wie aus Fig. 7 zu ersehen ist, und hängt man zwischen sie ein Pendel, welches aus einem schmalen, biegsamen Metallstreifen an Stelle der Pendelstange gebildet ist: so beschreibt die Linse dieses Pendels ebenfalls den Bogen P″PP′ einer Cycloide, wenn nur die Länge des Metallstreifens doppelt so viel beträgt, als der Durchmesser des Kreises, durch dessen Weiterrollen die Cycloide entstanden ist. Ein solches Pendel würde, wie Huyghens bewiesen hat, immer Schwingungen von gleicher Dauer machen, wie groß auch der Ausschlagswinkel sei: leider stößt aber seine praktische Ausführung auf Schwierigkeiten, die bis jetzt noch nicht überwunden werden konnten; so dünn man auch den Metallstreifen nehmen mag, so wird er doch immer dem Biegen einen gewissen Widerstand entgegensetzen, wenn er sich bei seiner Bewegung auf den einen oder anderen Cycloidenbogen aufrollen muß, und hierdurch wird ein Theil der Kraft aufgebraucht, sodaß die Bewegung nicht mit der Geschwindigkeit erfolgt, die sie ohne dieses Hinderniß haben würde.

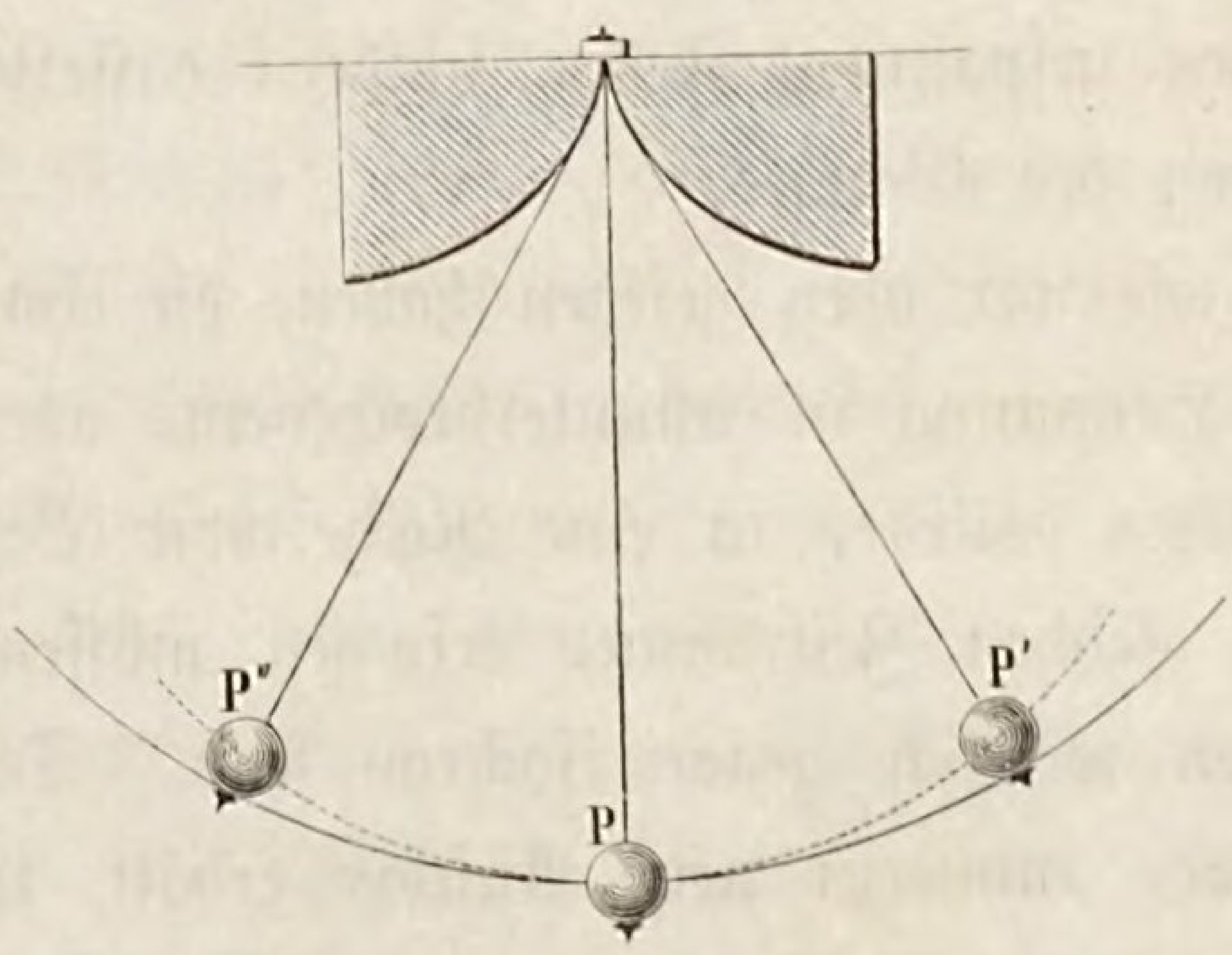


Fig. 7. Cycloidenpendel nach Huyghens.

Da das Pendel um so langsamer schwingt, je länger es ist, so muß unter der Linse eine Schraube angebracht sein, durch welche dieselbe ein wenig gehoben oder gesenkt werden kann: man wird sie heben, wenn das Pendel zu langsam schwingt und die Uhr dadurch gegen die richtige Zeit zurückbleibt; im entgegengesetzten Falle aber wird man sie senken. Auf welche Weise man dem Einfluß der Temperatur auf die Länge des Pendels und damit auf den Gang der Uhren unschädlich gemacht hat, werden wir im vierten Buche, das von der Wärme handelt, sehen: und wollen jetzt nur bemerken, daß in den wenig mehr als zweihundert Jahren, die seit den Entdeckungen des großen niederländischen Mathematikers

verflossen sind, die Uhrmacherkunst eine solche Höhe der Vollendung erreicht hat, daß die Präcision der von ihr gelieferten Instrumente kaum noch etwas zu wünschen übrig läßt: und von dieser Vollkommenheit der Uhrwerke haben alle Naturwissenschaften, vor allem aber die Astronomie, den größten Nutzen gezogen.

Im „Buche der physikalischen Erscheinungen" haben wir ausführlich besprochen, durch welche Mittel Borda und andere die Länge des Secundenpendels mit großer Schärfe zu bestimmen wußten, und wie man aus der Verschiedenheit dieser Länge an verschiedenen Beobachtungsorten die Gestalt der Erde bestimmt hat: jetzt wollen wir nur noch die sehr wichtige Anwendung erwähnen, die Foucault vom Pendel machte, um mit dessen Hilfe einen neuen Beweis für die Axendrehung der Erde zu führen; zu diesem Zwecke aber müssen wir einige Bemerkungen vorausschicken.

Befestigt man an einem Stabe, den man horizontal hält, einen Faden, der ein Gewicht trägt, und versetzt man dieses Gewicht in pendelartige Schwingungen, so behält dasselbe die Richtung dieser Schwingungen beständig bei, wenn man auch den Stab in der horizontalen Ebene beliebig weiter dreht. Man sieht aus diesem sehr leicht ausführbaren Versuche, daß das Pendel immerfort in ein und derselben Ebene weiter zu schwingen strebt, wenn auch der Punkt, an dem es aufgehängt ist, weiter gedreht wird. Stellen wir uns nun vor, wir befänden uns in einem geschlossenen Raume, welcher in langsame Umdrehung versetzt wird, ohne daß wir etwas davon bemerken, und vor uns wäre ein Pendel an einem Faden aufgehängt, so würde dasselbe seine Schwingungsebene beibehalten, während wir uns weiter drehen, und dadurch würde für uns der Schein entstehen, als ob das Pendel einen Kreis in einer der wirklichen Drehungsrichtung entgegengesetzten Richtung durchliefe. In einer ähnlichen Lage aber befinden wir uns immerdar, indem wir uns in einem Zeitraume von 24 Stunden (genauer von 23 Stunden 56 Minuten oder einem Sterntage) einmal um die Axe der Erde drehen, ohne daß wir selbst davon eine directe Empfindung haben: die Folge wird also sein, daß ein an einem Faden hängendes Pendel sich in einer Richtung zu drehen scheint, die der Umdrehungsrichtung entgegengesetzt ist. Denken wir uns zunächst an den Pol der Erde versetzt, so ist leicht ersichtlich, daß dort die scheinbare Umdrehung des Pendels mit der wirklichen der Erde gleichen Schritt halten müßte, daß also das Pendel den vollen

Kreis in Zeit eines Tages durchlaufen muß: für niedrigere Breiten dagegen gestaltet sich die Sache etwas anders, wie aus beistehender Fig. 8 zu ersehen ist. Stellen SN die Axe, O den Mittelpunkt und PQ den Aequator der Erde dar, und denke man sich im Beobachtungsort A ein Pendel gerade in der Richtung nach Norden schwingend, so wird sich der Pendelkörper in einer Linie bewegen, die in ihrer Verlängerung mit AB zusammenfällt. Rückt nun der Punkt A bei der Axendrehung bis H, so wird sich hier das Pendel infolge der Erhaltung der Schwingungsebene in der Richtung HB', welche der Richtung AB parallel ist, bewegen: die Richtung nach Norden fällt aber mit der Linie HB zusammen, sodaß sich die Linie, in der das Pendel schwingt, für uns scheinbar um den Winkel BHB', der gleich dem Winkel ABH ist, von Nord nach Osten hin gedreht hat. Nehmen wir z. B. an, die Zeit, während welcher sich A bis H bewegt, betrage eine Stunde, so wird der Winkel AMH 15° betragen: dann ist der Winkel ABH offenbar kleiner, er beträgt z. B. in der Breite von Berlin (52° 30') nur 11° 54' sodaß das Pendel mehr als 24 Stunden gebraucht, um einmal den vollen Kreis zu durchlaufen, nämlich, wie man durch eine leichte Division findet, 30¼ Stunde. Je mehr man sich nun dem Aequator nähert, desto mehr nähern sich die Linien AB und HB dem Parallelismus, desto kleiner wird also der Winkel ABH und desto langsamer dreht sich das Pendel: am Aequator selbst hört endlich die Drehung ganz auf, und erfolgt endlich auf der südlichen Halbkugel in entgegengesetzter Richtung.

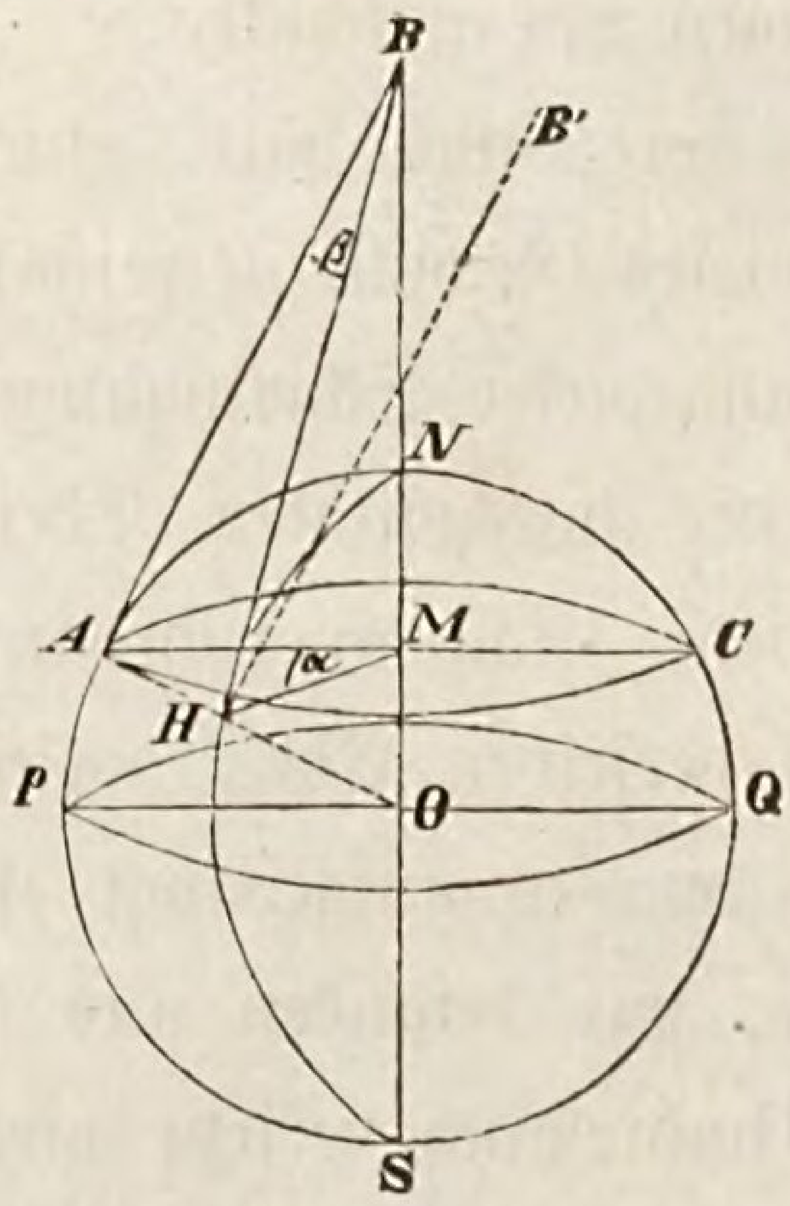


Fig. 8. Scheinbare Drehung des Pendels.

Dieses Ergebniß der Theorie fand nun seine volle Bestätigung in einem Versuche, den Léon Foucault im Jahre 1851 zuerst in der Sternwarte zu Paris anstellte und dann im Pantheon vor einer sehr großen Menschenmenge wiederholte: ein Versuch, der das Staunen der gesammten gebildeten Welt auf sich zog und an sehr vielen Orten, überall mit durchaus günstigem Erfolge auf's Neue ausgeführt worden ist. Foucault befestigte unter der Kuppel des Pantheon eine starke Metallplatte, in die ein Stahldraht von 64 m. Länge eingesetzt war, welcher selbst wieder

an seinem unteren Ende eine sehr schwere Messingkugel trug (Fig. 9). Wird diese Kugel aus der Gleichgewichtslage gebracht und dann frei gelassen, wobei man sich nur hüten muß, daß man ihr nicht einen Stoß in der einen oder anderen Richtung ertheilt, so führt sie eine Reihe sehr langsamer Schwingungen aus, welche immer in derselben Ebene im Raume erfolgen müssen. Mithin, wenn wir annehmen wollten, daß die Erde feststände, so könnte auch das Pendel keine scheinbare Drehung

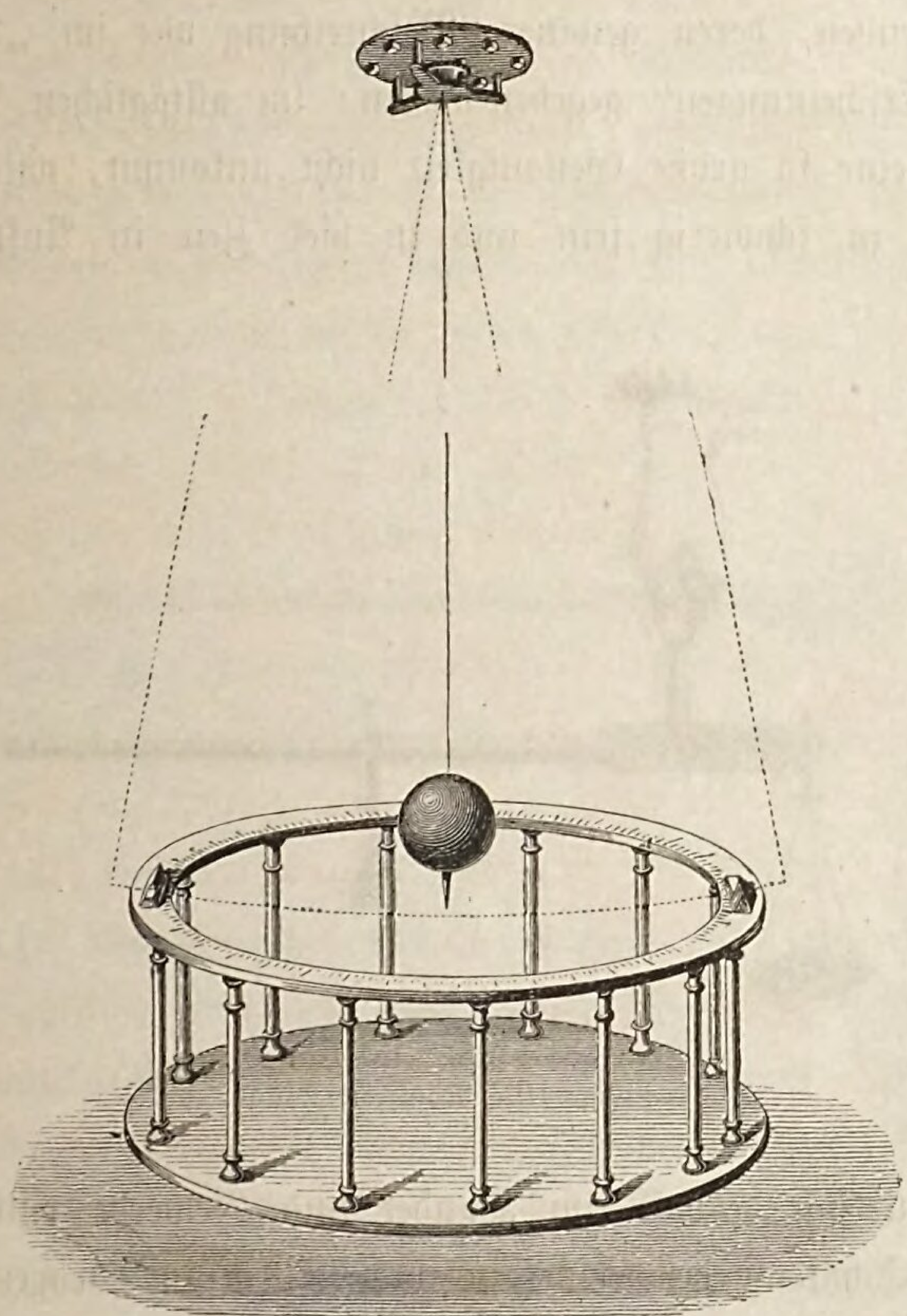


Fig. 9. Foucault's Pendelversuch, ausgeführt 1851 im Pantheon.

ausführen: wenn also bei den Versuchen eine solche Drehung beobachtet wurde, so ist dieselbe ein Beweis für die Axendrehung der Erde. Um die Abweichung des Pendels recht deutlich erkennbar zu machen, brachte Foucault rings um dasselbe eine kreisförmige Galerie aus Holz an und häufte auf diese feinen Sand, in welchen eine Spitze, die an der Kugel angebracht war, bei jeder Schwingung einen Strich einritzte. Das Weiterrücken dieser Striche ließ die Drehung des Pendels recht deutlich erkennen,

und man konnte beobachten, daß dasselbe wirklich in einer Stunde ziemlich genau den Winkel durchlief, den man nach der Theorie vorausberechnet hatte, sodaß man diesen Beweis für die Axendrehung der Erde als einen vollständigen bezeichnen darf.

§ 4. Die im Handel und Gewerbe gebräuchlichen Wagen.

Für wissenschaftliche Zwecke läßt sich einzig und allein die chemische Wage verwenden, deren genauere Beschreibung wir im „Buch der physikalischen Erscheinungen" gegeben haben: im alltäglichen Leben dagegen, wo es auf eine so große Genauigkeit nicht ankommt, würde deren Gebrauch viel zu schwierig sein und zu viel Zeit in Anspruch nehmen.

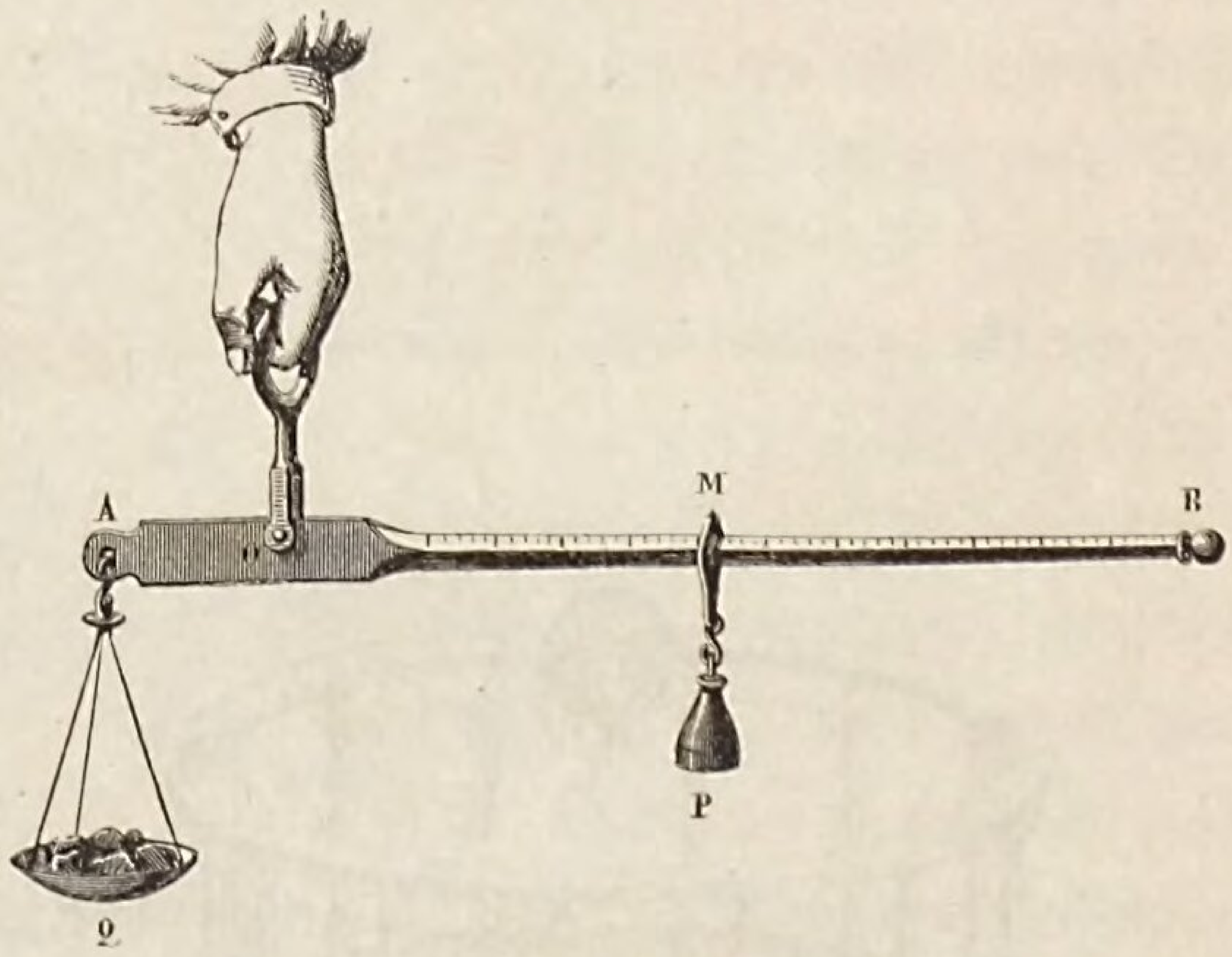


Fig. 10. Römische Wage.

Man bedient sich deshalb im Handel und Gewerbe entweder der gewöhnlichen Schalenwage, welche in ihrer Form im Großen und Ganzen zwar mit der chemischen Wage übereinstimmt, nur daß sie eine je nach Bedarf weit geringere Empfindlichkeit besitzt, oder man wendet Wagen an, die nach anderen Principien construirt sind, und von denen wir jetzt einige beschreiben wollen.

Schon im Alterthum war eine Wage in Gebrauch, deren Anwendung auf dem Satze beruht, daß sich bei einem Hebel zwei Körper im Gleichgewichte halten, sobald ihre Entfernungen vom Drehpunkte im umgekehrten Verhältnisse ihrer Gewichte stehen: und noch jetzt bezeichnet man dieses Instrument mit dem Namen der römischen Wage (Fig. 10).

Handgriff versehen ist, geschoben werden; auch hier liest man das Gewicht unmittelbar an einer Theilung auf dem Stabe ab.

Ein Instrument, das jetzt die größte Verbreitung gefunden hat, weil es mit der Bequemlichkeit der Handhabung einen weit größeren Grad der Genauigkeit verbindet, ist die Brückenwage oder Decimalwage (Fig. 12), die durch Quintenz erfunden wurde. Auf einer Säule HO ruht bei O ein Hebel AC auf einer Schneide, welcher an seinem längeren Arme bei C eine Schale bc zur Aufnahme der Gewichte trägt: am anderen Arme dagegen sind bei B und A Stäbe, die nach Unten gehen, angehängt, und diese tragen ihrerseits wieder zwei Platten, die sogenannten Brücken GD und LK. Die untere dieser beiden Brücken LK ruht bei K auf einer Schneide, während die obere GD ebenfalls mittels einer

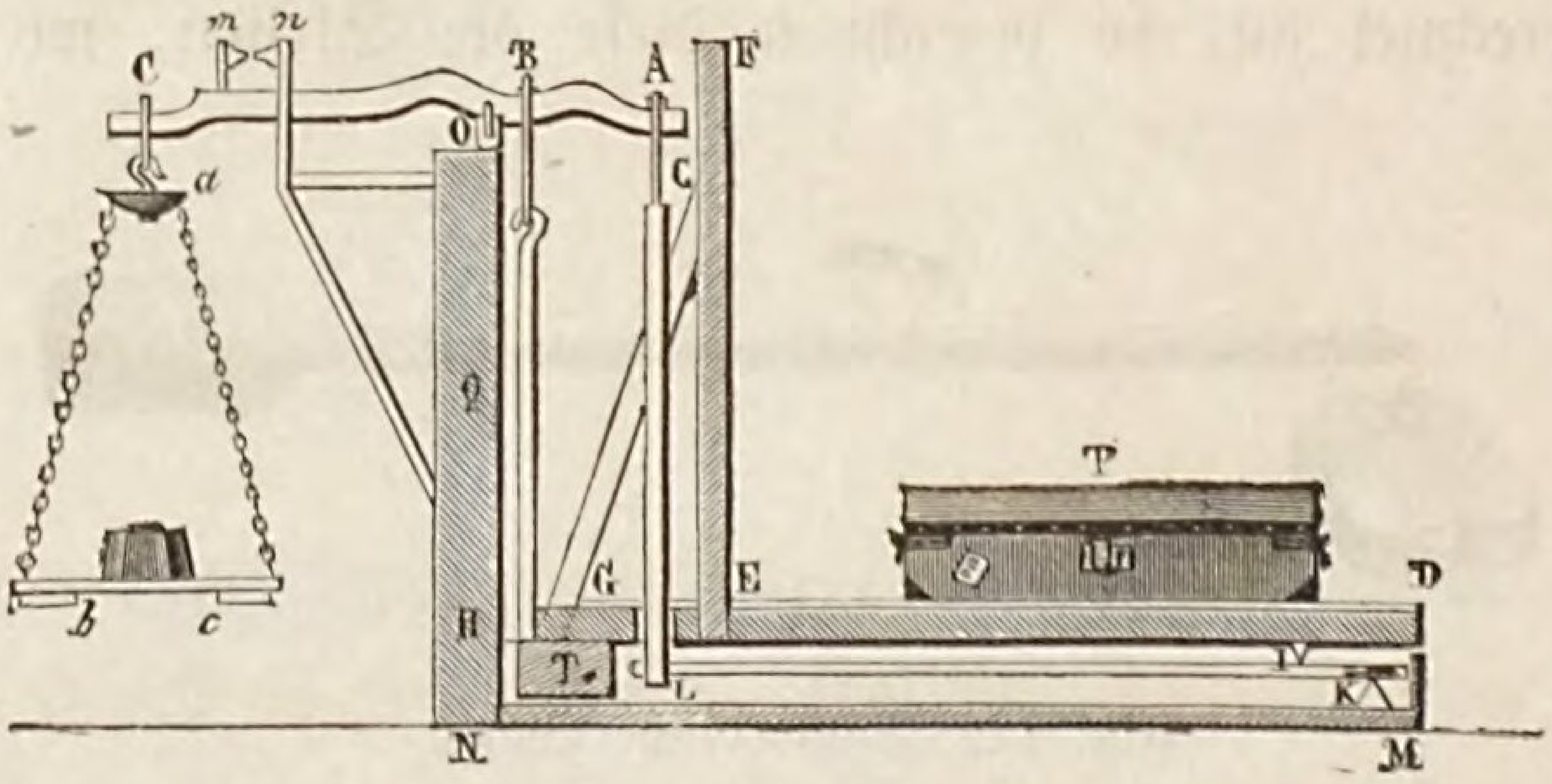


Fig. 12. Brückenwage.

Schneide auf jener liegt. Letztere dient zur Aufnahme der Last P, welche an beliebiger Stelle auf sie gelegt werden kann: der Bequemlichkeit wegen, sowie zum Schutze des Hebelwerkes ist noch eine Holzwand EF errichtet, gegen welche der zu wiegende Körper gelehnt werden kann. Wo man den Körper auch hinlegen mag, so wird sein Gewicht immer an zwei Stellen eine Wirkung ausüben: einmal drückt es auf die Schneide I und durch dieselbe auf die untere Brücke LK, andererseits aber zieht es an der Stange, die sich am äußersten Ende der Brücke befindet und durch diese auf den Hebel bei B; dieser Zug und jener Druck aber betragen zusammengenommen immer genau so viel, als das gesammte Gewicht der Last. Ist nun die Entfernung von O bis C zehnmal so groß, als die von O bis B, so muß man, um die in B wirkende Zugkraft aufzuheben, auf die Wagschale bc ein Gewicht auflegen, das nur gleich dem zehnten Theil derselben ist. Der Druck in I

wird dagegen durch die untere Brücke, welche in K aufliegt, auf den Punkt L übertragen und wirkt weiter mittels der Stange LA, welche durch eine Oeffnung der oberen Brücke frei hindurchgeht, ebenfalls als Zug in A auf den Hebel: ist nun die Länge LK fünfmal so groß, als die Länge IK, wie man es gewöhnlich einrichtet, so wird nach den Hebelgesetzen der Zug an der Stange LA nur den fünften Theil des Druckes in I betragen, und wenn man endlich die Länge OA halb so groß macht, als OC, so braucht man als Gegengewicht auf der Wagschale ein Gewicht, das halb so groß ist, als der Zug in A und mithin von dem Drucke in I nur den zehnten Theil beträgt. Will man also Gleichgewicht herstellen, so muß man auf die Wagschale Gewichte auflegen, welche den zehnten Theil so viel betragen, als die Summe des Zuges in B und des Druckes in I, d. h. den zehnten Theil der aufgelegten Last. Hat man also eine Last durch Gewichte auf der Schale in das Gleichgewicht gebracht, was man daraus erkennt, daß sich die Schneiden m und n genau einander gegenüberstellen, so muß man den Betrag der aufgelegten Gewichte zehnmal nehmen, um das Gewicht der Last zu bestimmen: deshalb bezeichnet man auch diese Wage mit dem Namen Decimalwage; die bei ihr zur Anwendung kommenden Gewichtsstücke sind in der Regel schon mit dem Zehnfachen ihres Werthes bezeichnet.

Wenn es gilt, sehr bedeutende Lasten, z. B. beladene Frachtwagen, Locomotiven u. dergl. zu wiegen, so bedient man sich ebenfalls der Brückenwagen; es müssen dieselben dann nur viel solider gebaut sein und auch mancherlei Abänderungen in der Anordnung ihrer Theile erfahren: gewöhnlich ist dann auch die Einrichtung so getroffen, daß nur der hundertste Theil des Gewichtes als Gegengewicht aufgelegt werden muß, in welchem Falle man diese Instrumente als Centesimalwagen bezeichnet.

Um sehr leichte Gegenstände, wie Seide, Wolle, Zwirn u. dergl. zu wiegen, wendet man die Zeigerwage (Fig. 13) an, welche aus einem um O leicht drehbaren Hebel AB besteht, der an dem einen Ende A eine Wagschale zur Aufnahme des zu wiegenden Körpers und am anderen Ende B einen Knopf als Gegengewicht für die Wagschale trägt; in seiner Mitte aber ist ein Zeiger OD befestigt, der auf einem Theilkreise einspielt. So lange die Wage nicht belastet ist, muß der Zeiger senkrecht nach Unten zeigen, d. h. die Vertheilung der Masse muß derart sein,

einander liegenden Enden sind durch Stäbe mit einander verbunden, welche sich in Gelenken bewegen, und die Mitten liegen auf zwei Schneiden O und O' auf, von denen sich die eine genau senkrecht über der andern

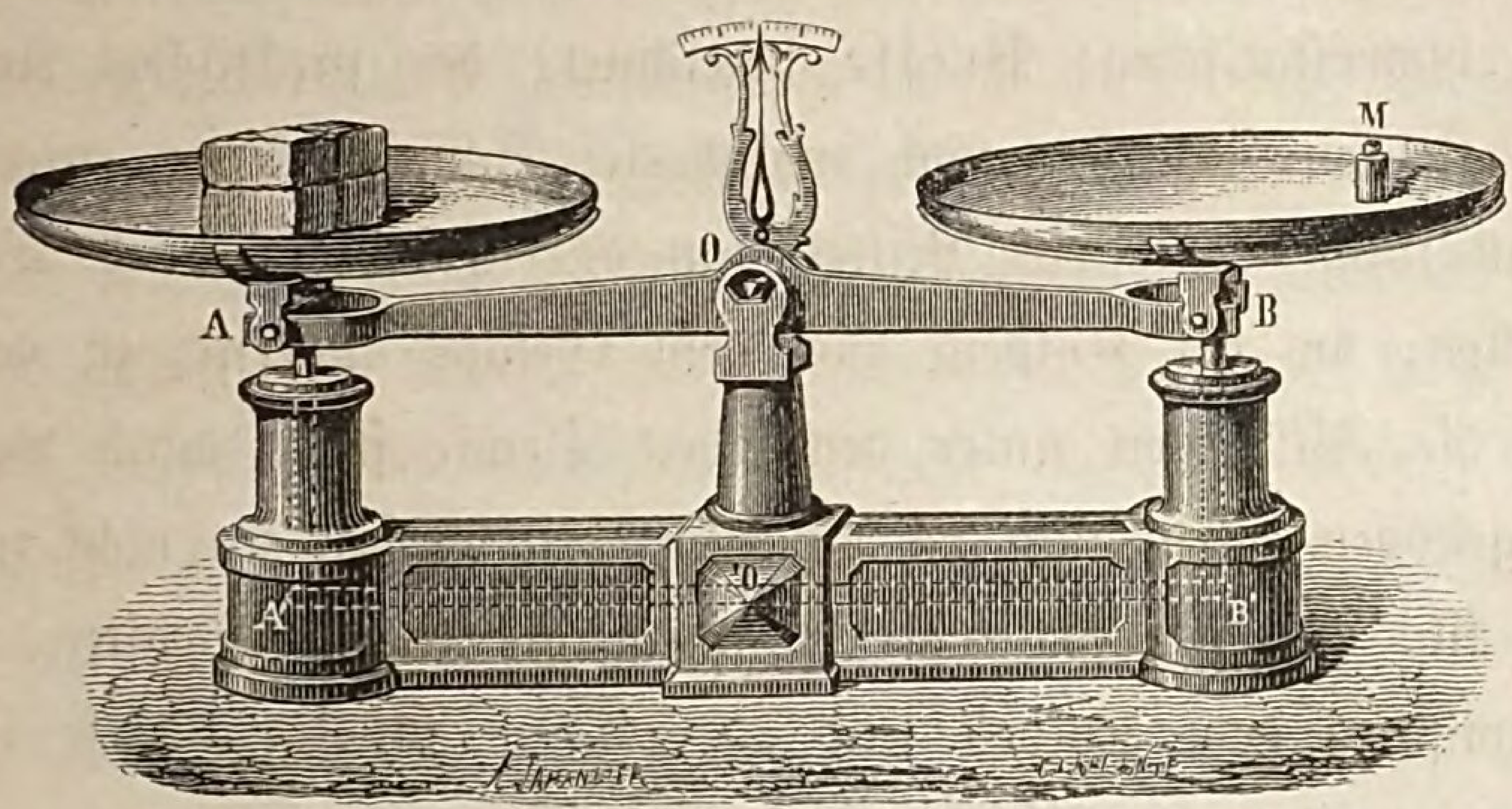


Fig. 15. Tafelwage nach Roverbal.

befindet. Endlich trägt der obere Wagbalken an seinen Enden die beiden Schalen und in der Mitte die nach oben gerichtete Zunge, welche durch ihre Einstellung das Gleichgewicht anzeigt. Der Hauptvortheil dieser Wage besteht darin, daß man beim Auflegen der Waare und beim Aufsetzen der Gewichte nicht, wie bei der gewöhnlichen Wage, durch die Schnuren oder Ketten, an denen bei letzterer die Schalen hängen, gehindert wird.

Zweites Kapitel.

Das Gleichgewicht der Flüssigkeiten.

§ 1. Die hydraulische Presse.

Pascal hatte gezeigt, daß jeder Druck, welcher in irgend einem Punkte auf eine Flüssigkeit ausgeübt wird, sich durch dieselbe nach allen Seiten hin mit gleicher Stärke fortpflanzt, und hieraus hatte er bereits die Folgerung gezogen, daß es möglich sein müsse, mit einer verhältnißmäßig geringen Kraft einen sehr bedeutenden Druck auszuüben, wenn man als Mittel für die Uebertragung eine Flüssigkeit, z. B. Wasser, wählt und wenn man die Kraft auf einen Kolben wirken läßt, welcher bedeutend kleiner ist als der Kolben, durch den der Druck schließlich ausgeübt wird: er gelangte durch seine Versuche und durch theoretische

Betrachtungen zu dem Satze, daß die Druckkraft in demselben Maße gesteigert wird, in welchem die Oberfläche des letzteren Kolben zu der des ersteren steht. Damit hat er in der Theorie das Instrument erfunden, welches man mit dem Namen der hydraulischen (richtiger eigentlich hydrostatischen) Presse bezeichnet: der praktischen Ausführung derselben stellten sich aber noch mancherlei Schwierigkeiten entgegen. So fand man lange Zeit kein Mittel, um das Entweichen des Wassers an den Stellen, wo der Kolben aus dem Gefäße austritt, zu verhindern: denn da die Flüssigkeit unter demselben Drucke steht, durch welchen der Kolben gehoben wird, und da das Wasser selbst fast gar nicht zusammendrückbar ist, so entwich es leicht durch die feinen Spalten, die doch immer zwischen dem Kolben und der Wand blieben. Erst im Jahre 1796 ist es dem englischen Techniker Bramah gelungen, auch diese Schwierigkeit zu überwinden und wir wollen jetzt uns zu dem von ihm verbesserten Apparate wenden, wie er in Fig. 16 im Durchschnitt dargestellt ist.

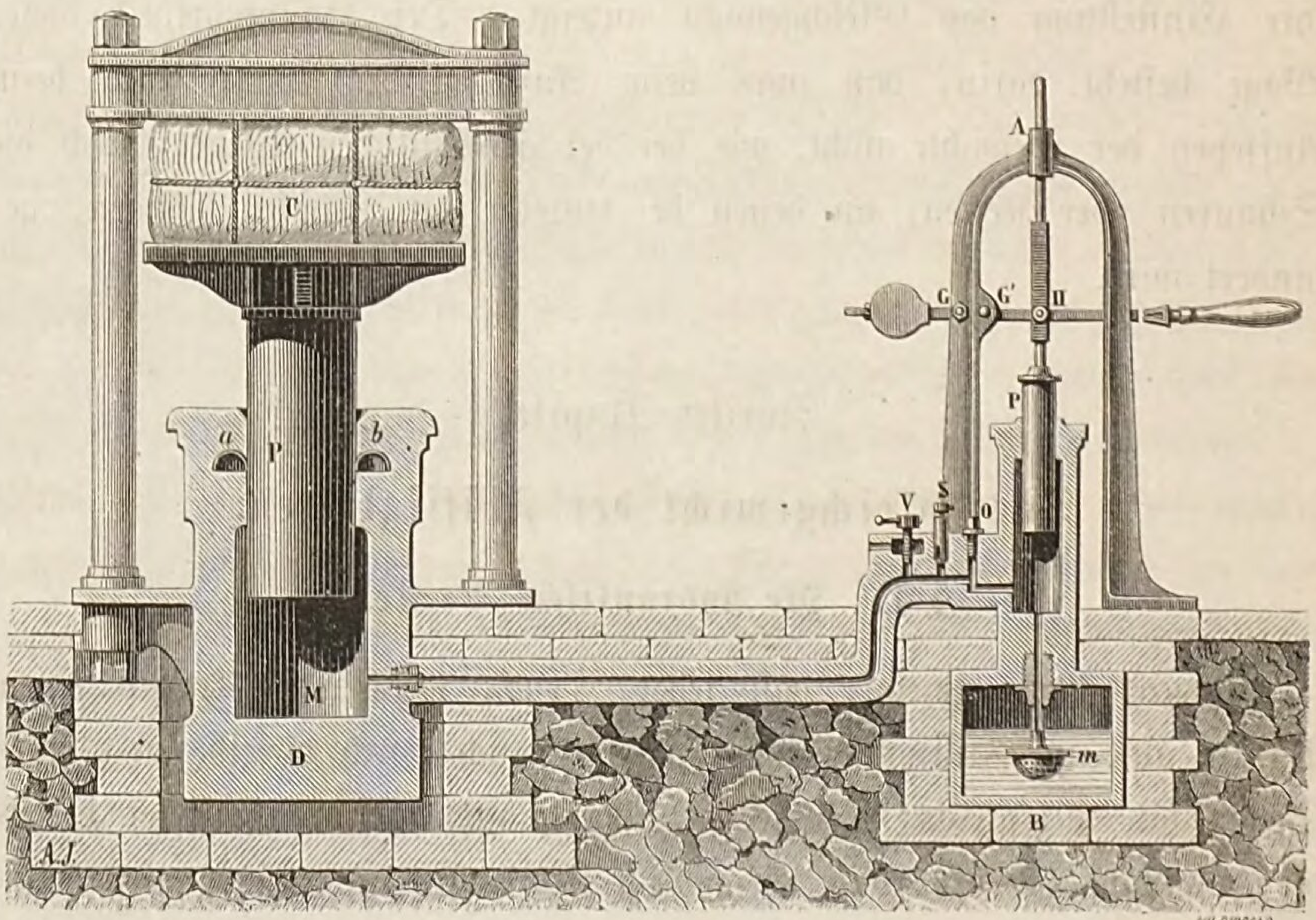


Fig. 16. Hydraulische Presse.

Die hydraulische Presse wird jetzt vielfach in der Industrie verwendet, um manche Stoffe einem sehr starken Drucke zu unterwerfen: man bringt diese Stoffe C zwischen zwei breite Platten, von denen die

obere an einem sehr starken, von Säulen getragenen Gerüst befestigt ist, während die andere auf dem Kolben P der Presse ruht und zwischen den Säulen aufsteigen kann. Der Kolben selbst taucht in ein cylindrisches, mit Wasser gefülltes Gefäß M, welches durch ein Rohr mit einer Druckpumpe AB in Verbindung steht, auf deren Kolben p die arbeitende Kraft mittels eines Hebels GH wirkt.

Wenn man den Kolben p durch den Hebel hebt, so wird durch den äußeren Luftdruck das Wasser des Gefäßes m durch ein Sieb und ein im Saugrohr befindliches Ventil hinauf gepreßt; senkt man den Kolben, so schließt sich das Ventil des Saugrohres, dafür aber öffnet sich ein anderes, welches durch eine Feder bei O herabgedrückt wird, das Wasser dringt in das Gefäß M und drückt gegen den Kolben P. Die Verbesserung, welche Bramah angebracht hat, besteht nun darin, daß er in den oberen starken Deckel des Gefäßes M rings um den Kolben P einen Ring ab einschleifen und in denselben einen Lederring einlegen läßt, dessen Randfläche eine größere Breite besitzt, als der eingeschliffene Ring, sodaß er nur in der Höhlung liegen kann, wenn sich das Leder zu einer Wulst krümmt. Sorgt man nun dafür, daß die Krümmung des Lederringes nach Oben gerichtet ist, wie Fig. 16 zeigt, so wird, wenn das Wasser neben dem Kolben bis zu dem Ringe ab hindurch dringt, das Leder durch den Druck des Wassers so fest angepreßt, daß die Dichtung eine vollständige ist, und zwar wird der Schluß um so vollständiger, je mehr der Druck wächst.

In den meisten Fällen ist der Widerstand, den die Stoffe, welche man zusammendrücken will, leisten, im Anfange ziemlich gering, wächst aber allmählich immer mehr in demselben Maße, als die Dichtigkeit der Stoffe zunimmt. Um nun nicht genöthigt zu sein, eine größere Druckkraft anzuwenden, hilft man sich damit, daß man den Hebelarm, an welchem der Pumpenkolben befestigt ist, verkürzt, indem man die Axe, um welche sich der Pumpenschwengel dreht und welche zuerst in G befestigt war, von dort entfernt und bei G′ anbringt.

Die Steigerung des Druckes erfolgt in zweierlei Weise: einmal durch den Hebel, an dessen längerem Arme die Kraft angreift, und dann weiter durch die Verschiedenheit der Kolben: nehmen wir z. B. an, der Hebelarm der Kraft sei zehnmal so lang, als derjenige, an welchem der Kolben p befestigt ist, und die Oberfläche des Kolben P sei funfzigmal

so groß, als die des kleineren Kolben, so wird durch die Presse der Druck auf das Fünfhundertfache gesteigert, sodaß, wenn ein Arbeiter auf den Handgriff des Hebels mit der Kraft eines Centners drückt, die Wirkung auf die Stoffe gleich dem Drucke einer Last von 500 Centner sein würde, wenn man nicht bei Ueberwindung der Reibung einen Verlust an Kraft mit in Kauf nehmen müßte. Soll nach dem Gebrauche das Wasser aus dem Behälter entfernt werden, so wird die Schraube V zurückgezogen, sodaß das Wasser aus der dadurch entstandenen Oeffnung ausfließen kann; S endlich ist ein Sicherheitsventil ähnlicher Einrichtung, wie wir es später bei der Dampfmaschine kennen lernen werden.

Man wendet die hydraulische Presse an, um den Saft mancher Pflanzen, z. B. der Oelfrüchte, zu gewinnen, um Stoffe und Papier zusammenzudrücken, um Futter, welches auf eine große Entfernung hin versendet werden soll, auf einen kleineren Rauminhalt zu bringen; weiter benutzt man dieselbe Maschine bei der Fabrication der Kerzen, der Nudeln und ähnlicher Waaren; ferner prüft man mit ihrer Hilfe die Festigkeit der Drahtseile, die für den Gebrauch der Marine angefertigt werden, und auch bei der Prüfung der Dampfkessel finden ähnliche Apparate Verwendung. Die großartigste Anwendung aber fand die hydraulische Presse bei der Erbauung der Britannia Bridge, welche die Insel Anglesea mit der Grafschaft Caernavon verbindet, und über welche die Eisenbahn zwischen Chester und Holyhead hinweggeführt ist. Bei diesem Werk wurden die vier großen Röhren aus gewalztem Eisen, durch welche der Dampfwagenzug hindurchfährt, auf die Pfeiler durch hydraulische Pressen, welche durch Dampfmaschinen in Gang gesetzt wurden, gehoben: dieselben hatten ein Gesammtgewicht von 40,000 Ctr., die Hubhöhe aber betrug im Mittel 33 m.

In neuerer Zeit haben die Physiker Desgoffe und Ollivier eine sehr sinnreiche Abänderung an der hydraulischen Presse angebracht, welche deren Anwendung wesentlich erleichtert und ihre Einführung besonders in das kleinere Gewerbe möglich macht. Bei diesem abgeänderten Instrumente, welches die Erfinder mit dem Namen der sterhydraulischen Presse (Fig. 17) belegten, ist die Druckpumpe ganz in Wegfall gekommen, und an ihrer Stelle wird der Druck durch einen Draht oder Riemen ausgeübt, der sich auf eine Axe aufwickelt und dadurch deren Volumen vergrößert. Wir sehen in der Mitte des Apparates einen

entgegensteht, nicht außer Acht gelassen werden: das ist die Schwierigkeit, die beiden Stellen, wo der Draht in das Innere des Apparates eindringt und wo die Axe aus demselben hervorragt, damit die Kurbel an ihr befestigt werden kann, durch Stopfbüchsen so dicht zu schließen, daß trotz des hohen Druckes nicht einige Tropfen der Flüssigkeit hindurchsickern; und so wird wohl zunächst dieses Princip nur bei kleineren Instrumenten zur Anwendung kommen können; größere Apparate dagegen werden wohl auch in Zukunft noch immer die Bramah'sche Einrichtung erhalten müssen.

§ 2. Die Aräometer.

Bekanntlich war es der berühmte Mathematiker Archimedes von Syracus, welcher ungefähr zweihundert Jahre vor Christi Geburt das wichtige Gesetz entdeckte, daß jeder feste Körper, der in eine Flüssigkeit taucht, so viel an seinem Gewichte verliert, als die von ihm aus ihrer Stelle verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt: er machte diese Entdeckung bei Gelegenheit der Untersuchungen, die er im Auftrage des Königs Hiero anstellte, um zu ermitteln, ob das Gold einer für denselben angefertigten Krone rein sei oder mit anderen Metallen vermischt. Die Methode, welche er anwendete, um diese Frage zu entscheiden, ist im Großen und Ganzen noch heutigen Tages in Gebrauch und besteht, um es kurz zu bezeichnen, in der Bestimmung des specifischen Gewichtes, d. h. des Gewichtes der Volumeneinheit des zu untersuchenden Stoffes. Doch auch für einen Körper, welcher in einer Flüssigkeit schwimmt, behält das Archimedische Gesetz seine Giltigkeit, und da in diesem Falle der Körper durch die Flüssigkeit schwebend erhalten wird, so muß das Gewicht der Flüssigkeit, die vom Niveau an gerechnet durch ihn verdrängt ist, seinem vollen Gewichte selbst gleich sein. Hat man also letzteren gewogen, und besitzt man weiter ein Mittel, durch das man sein Volumen bis zu der Linie, bis zu welcher er in die Flüssigkeit eintaucht, bestimmen kann, so braucht man nur das Gewicht des Körpers durch dieses Volumen zu theilen, um das specifische Gewicht der Flüssigkeit zu bestimmen. Diese Betrachtungen haben nun zu der Construction von Instrumenten geführt, durch welche sich das specifische Gewicht der Flüssigkeiten oder andere damit zusammenhängende Eigenschaften derselben sehr schnell bestimmen lassen, und welche man mit dem Namen der Aräometer bezeichnet:

verdrängt, daß also sein Rauminhalt selbst bis dahin 200 ccm beträgt. Kennt man nun die Weite der Röhre, so kann man leicht bestimmen, wie lang ein Stück derselben sein muß, dessen Inhalt 1, 2, ... ccm beträgt, und man kann in den gefundenen Entfernungen oberhalb und unterhalb der zuerst bestimmten Marke Striche auftragen, welche angeben, bis zu welchem Punkte das Volumen 201, 202, ... und andererseits 199, 198, ... ccm beträgt. Bringt man nun das Instrument in die zu prüfende Flüssigkeit und beobachtet man, bis zu welchem Theilstriche es einsinkt, so weiß man, wie viel Cubikcentimeter der Flüssigkeit das Gewicht von 200 gr. haben, und kann nun durch Division das Gewicht eines Cubikcentimeters oder das specifische Gewicht bestimmen. Sinkt das Volumeter in einer Salzlösung z. B. nur bis 180, so ist das specifische Gewicht $^{200}/_{180} = 1,_{11}$; wenn es dagegen in Spiritus bis 210 eintaucht, so besitzt derselbe ein specifisches Gewicht von $^{200}/_{210} = 0,_{95}$. Man sieht, daß man an Stelle der Volumina sogleich die Ergebnisse der Division auf die Röhren aufschreiben darf und daß dann die Ablesung unmittelbar das specifische Gewicht der Flüssigkeit angiebt.

In der Praxis kann man gewöhnlich die directe Angabe des specifischen Gewichtes nicht verwerthen, sondern man gebraucht Bestimmungen über den Gehalt an gewissen Stoffen, z. B. Salz oder Alkohol, und man wünscht die gesuchten Werthe sofort durch die Ablesungen zu ermitteln und nicht erst durch eine Zwischenrechnung zu bestimmen. Deshalb versieht man die Aräometer für die verschiedenen Zwecke mit verschiedenen Theilungen, von denen wir jetzt einige besprechen wollen.

Fig. 18 stellt zunächst eine Salzwage nach Baumé dar: dieselbe ist so eingerichtet, daß sie in destillirtem Wasser fast vollständig untertaucht, sodaß nur noch die Kuppe der Röhre hervorsteht; der Punkt, bis zu dem sie einsinkt, wird mit 0 bezeichnet. Bringt man weiter das Instrument in eine Lösung von 15 Gewichtstheilen Seesalz in 85 Theilen Wasser, so wird es nicht so tief eintauchen, weil die Flüssigkeit ein größeres specifisches Gewicht hat, und man bezeichnet den Punkt, bis zu dem es sinkt, mit der Zahl 15: Den Zwischenraum zwischen 0 und 15 theilt man in 15 Theile und trägt diese Abtheilungen nach Unten zu immer von Neuem auf, bis etwa zur Zahl 60 hin. Man kann dieses Instrument natürlich nur für Flüssigkeiten gebrauchen, die schwerer sind

als Wasser: so sinkt es in concentrirter Schwefelsäure nur bis zum Theilstrich 60, in Salpetersäure bis 36, in Salzsäure bis 26 ein. Fast noch willkürlicher als diese Theilung ist die Graduirung, die Baumé an den Aräometern anbrachte, die zur Wägung leichterer Flüssigkeiten, z. B. Spiritus, dienen sollten (Fig. 19): er verlegte den Nullpunkt an die Stelle, bis zu welcher das Instrument in einer Lösung von 10 Theilen Salz in 90 Theilen Wasser einsank; den Punkt aber, bis zu welchem es in destillirtem Wasser eintaucht, bezeichnete er mit 10,

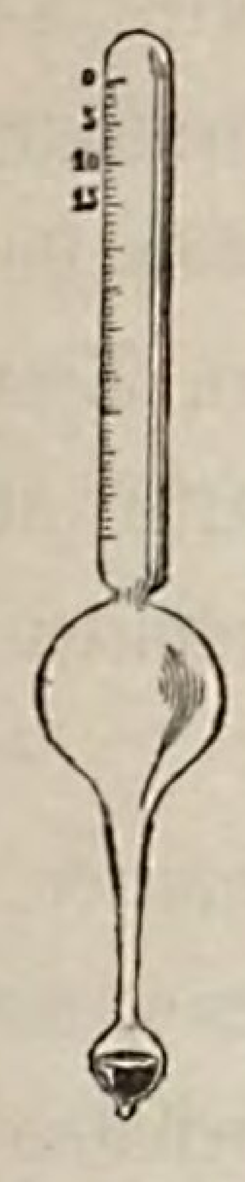


Fig. 18. Salzwage nach Baumé.

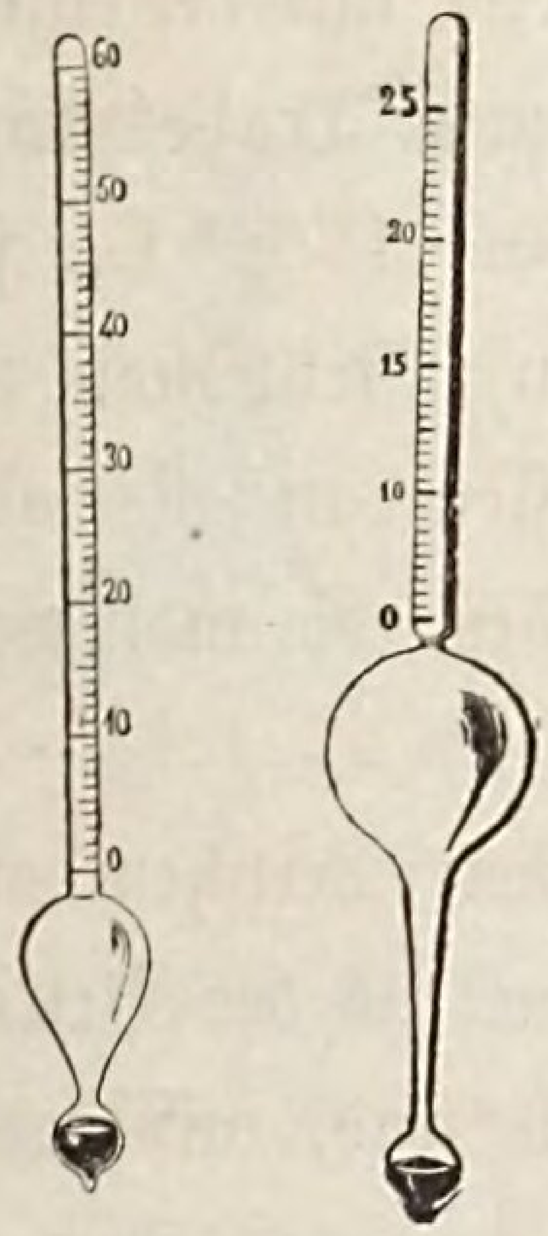


Fig. 19. Alkoholometer nach Baumé.

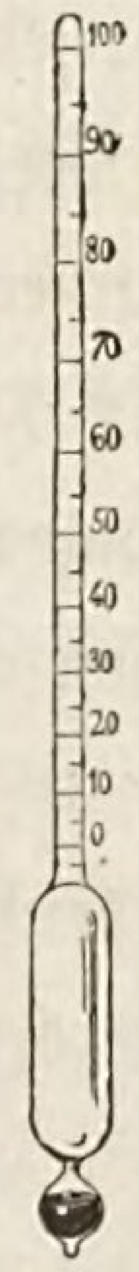


Fig. 20. Alkoholometer nach Tralles.

theilte den Zwischenraum in 10 Theile und setzte die Theilung nach Oben hin fort. Danach würde Spiritus von 36° Baumé eine solche Mischung von Alkohol und Wasser sein, in welcher das Baumé'sche Alkoholometer bis zum 36. Theilstriche einsinkt: über den wahren Alkoholgehalt aber erfährt man durch diese Angabe nichts.

Weit vorzüglicher, als die erwähnten Instrumente, ist das Alkoholometer von Tralles (Fig. 20), das im Principe schon von Gay-Lussac angegeben wurde und zu dessen Herstellung die eingehendsten Untersuchungen über das specifische Gewicht der verschiedenen Mischungen aus Alkohol und Wasser angestellt wurden: Untersuchungen, die unter anderem zu dem höchst wichtigen und merkwürdigen Resultat führten, daß sich das Wasser und der Alkohol beim Mischen auf einen kleineren Raum zusammenziehen, als sie zuvor getrennt eingenommen hatten, und daß dadurch das specifische Gewicht der Mischung größer wird, als sich aus

einer einfachen Berechnung, welche nur auf das Mischungsverhältniß Rücksicht nimmt, ergeben würde. Mit Rücksicht auf alle diese Verhältnisse ist nun die Theilung so eingerichtet, daß sie sofort den Procentgehalt des Alkohol angiebt, sodaß der Theilstrich für destillirtes Wasser mit 0, für absoluten Alkohol mit 100 bezeichnet ist: hat man also z. B. beobachtet, daß das Instrument in Spiritus, den man damit untersuchen will, bis zum Theilstrich 70 eintaucht, so ist der Spiritus 70grädig, d. h. er enthält $70^{0}/_{0}$ Alkohol. Da sich die Flüssigkeiten durch Wärme stärker ausdehnen, als die festen Körper, so kann streng genommen jedes Alkoholometer nur bei einer ganz bestimmten Temperatur gebraucht werden (für die von Tralles construirten Instrumente ist als Normaltemperatur 60° F. = $15^{5}/_{9}$° C., für die von Gay-Lussac construirten 15° C angenommen): stellt man nun bei anderen Temperaturen Beobachtungen an, so müssen an die abgelesenen Werthe noch kleine Correctionen angebracht werden, die man eigens dafür berechneten Tabellen entnimmt.

Auf denselben Principien beruhen auch alle Aräometer, die zur Prüfung anderer Flüssigkeiten, als des Petroleum, des Bieres, des Weines, der Milch u. s. w., bestimmt sind, auf deren Einzelbeschreibung wir aber hier nicht eingehen können.

§ 3. Wasserwagen und Libellen.

Die Flüssigkeiten besitzen infolge der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen die Eigenschaft, daß sich alle Punkte ihrer Oberfläche in eine horizontale Ebene einstellen, auch wenn ihre Masse in verschiedene Gefäße vertheilt ist, vorausgesetzt, daß dieselben nur unterhalb des Spiegels der Flüssigkeiten mit einander im Zusammenhange stehen oder, wie man sich ausdrückt, mit einander communiciren. Auf dieser Eigenschaft beruht nun ein sehr einfaches Instrument, die Wasserwage (Fig. 21), dessen sich die Geometer bedienen um die gegenseitige Höhe verschiedener Punkte zu bestimmen. Dasselbe besteht aus einer langen Röhre b b, welche von einem Stative getragen wird, und sich an beiden Enden rechtwinklig nach Oben krümmt, woselbst zwei aufrechtstehende, nach Oben offene Glascylinder e und f auf sie aufgesetzt sind. Zum Gebrauche füllt man das Instrument so weit mit Wasser, daß dasselbe in den beiden Glascylindern

bis etwa dreiviertel der Höhe hinaufreicht, und stellt es so auf, daß die Röhre ungefähr eine horizontale Lage hat. Blickt man nun längs einer Linie mn, welche die beiden Wasserspiegel in e und f berührt, so weiß man, daß diese Visirlinie genau horizontal ist und daß sich das Auge mit einem Punkte, den man in dieser Richtung hinter dem Instrumente sieht, in genau gleicher Höhe befindet. Dreht man nun die

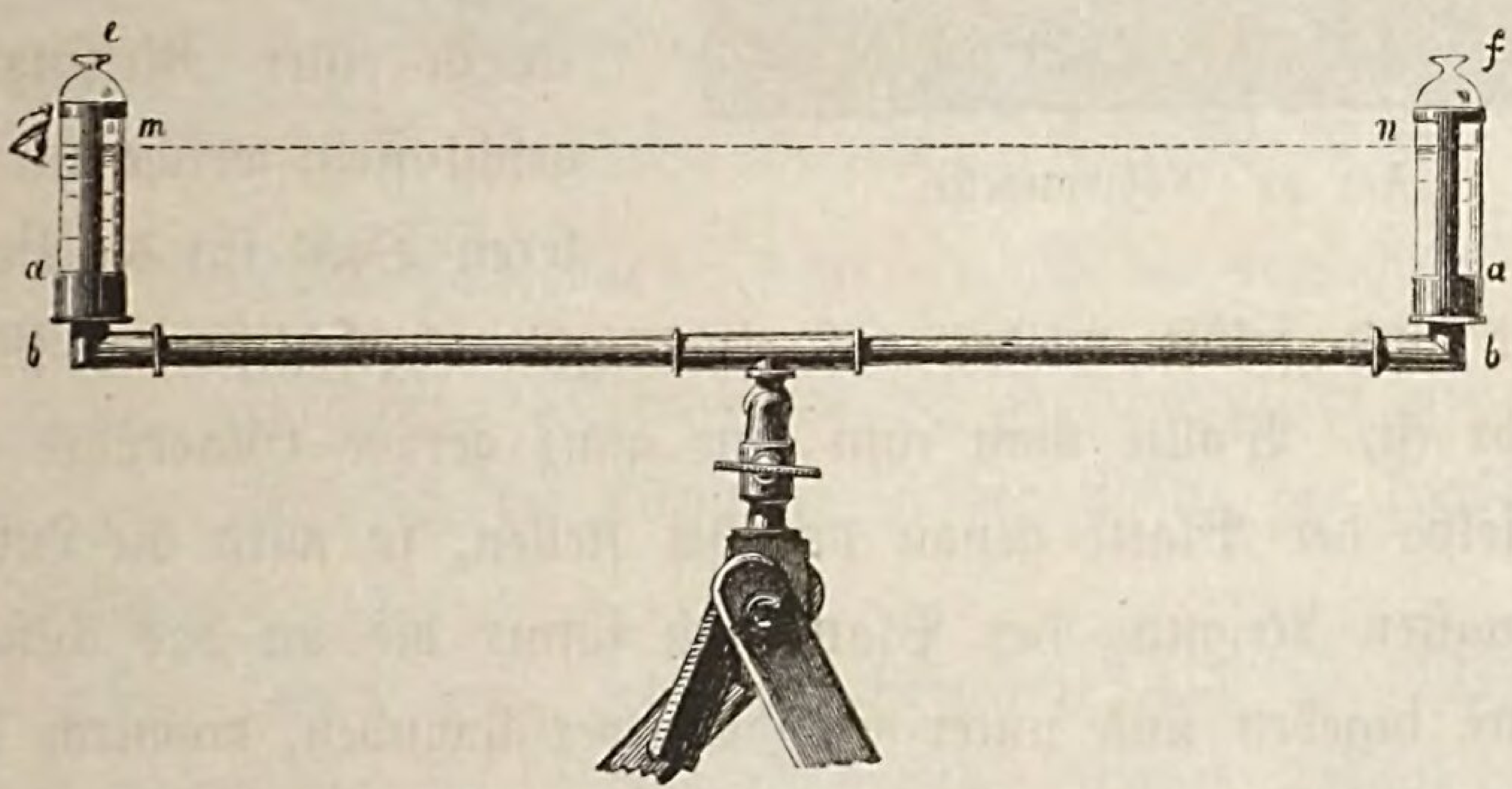


Fig. 21. Die Wasserwage.

Röhre in der Horizontalebene weiter, so kann man rings umher eine Anzahl Punkte auffinden, welche alle in gleicher Höhe liegen: stellt man dagegen dem Instrumente eine Latte gegenüber, die mit einer Theilung versehen ist, und beobachtet man, auf welchen Theilstrich die Visirlinie hinweist, so kann man, wenn man noch die Höhe des Instrumentes gemessen hat, bestimmen, um wieviel das Terrain zwischen Wasserwage und Latte ansteigt. Ein Uebelstand bei der Handhabung der Wasserwage besteht darin, daß das Wasser am Rande infolge der Adhäsion ein wenig am Glase aufsteigt, wie man an jedem mit Wasser gefüllten Trinkglase sehen kann, und daß es somit schwer hält, genau über beide Spiegel hinwegzusehen: daher würde es sich mehr empfehlen, wenn man die Röhre mit einer Flüssigkeit füllte, deren Adhäsion am Glase geringer ist, sodaß sie am Rande etwas herabsinkt, wie man beim Quecksilber, das in einer Flasche eingeschlossen ist, beobachten kann; nur würde sich gerade Quecksilber selbst wegen seines großen Gewichtes nicht eignen.

Will man eine Linie oder eine Fläche horizontal einstellen, so bedient man sich der Libellen: Instrumente, welche darauf beruhen, daß von zwei flüssigen Körpern, die sich in demselben Gefäße befinden, der specifisch leichtere immer den oberen Theil des Raumes einnimmt. So

besteht die Röhrenlibelle oder Libellenwage (Fig. 22) aus einer beiderseits geschlossenen Glasröhre, welche fast vollständig mit Wasser, oder besser noch mit gefärbtem Alkohol oder Aether (welche Flüssigkeiten in der Kälte nicht so leicht erstarren) gefüllt ist, sodaß nur noch eine kleine Luftblase, welche die Stelle der leichteren Flüssigkeit vertritt, frei bleibt. Die Röhre ist in einer Messinghülse eingeschlossen, welche nur den mittleren Theil für die Beobachtung frei läßt und selbst wieder auf einer gut abgeschliffenen Platte festgeschraubt ist.

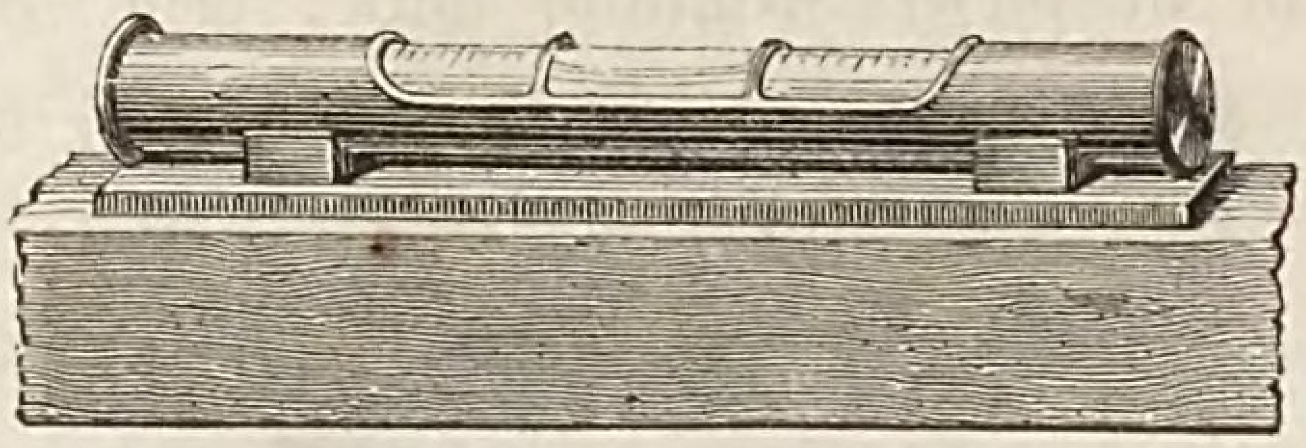


Fig 22. Röhrenlibelle.

Wollte man nun eine ganz gerade Glasröhre anwenden und dieselbe der Platte genau parallel stellen, so wird die Luftblase bei der geringsten Neigung der Platte sich sofort bis an das äußerste Ende der Röhre begeben und unter der Hülse verschwinden, wodurch die Handhabung des Instrumentes sehr erschwert, ja fast unmöglich gemacht wird. Deshalb giebt man der Röhre eine leichte, aber ganz gleichmäßige Krümmung nach Oben und hat nur dafür zu sorgen, daß ihr Mittelpunkt von der Platte am weitesten entfernt ist; von dem Mittelpunkte aus bringt man eine Theilung nach beiden Seiten hin an. Wenn das Instrument richtig ist, so wird man schließen, daß eine Ebene, auf die man es stellt, wenigstens in der einen Richtung, nämlich der Längsrichtung der Libelle, horizontal ist, sobald die Luftblase beiderseits durch entsprechende Striche der Theilung, die vom höchsten Punkte der Röhre gleichen Abstand haben, begrenzt wird. Der Sicherheit wegen wird man jede Beobachtung wiederholen, indem man die Libelle in umgekehrter Richtung aufsetzt. Bedarf man einer horizontalen Fläche, so wählt man am besten eine gut polirte dreieckige Platte (Fig. 23), die man mit drei Stellschrauben versieht: man stellt nun zunächst die Röhrenlibelle parallel zu der einen Kante und dreht die Schrauben, welche sich an ihren Endpunkten befinden, so lange, bis sich die Luftblase der Libelle in der Mitte befindet; hierauf bringt man die Libelle in die Richtung der Höhe des Dreiecks, welche auf der vorhin gewählten Kante rechtwinklig ist, und regulirt nun die Stellung mittels der dritten Schraube. Etwas schneller kommt man zum Ziele bei Anwendung einer Dosenlibelle: eine Messingdose, welche auf einem gut abgeschliffenen Rande ruht,

oberhalb durch eine Glastafel abgeschlossen wird, die sich ähnlich wie ein Uhrglas nach Außen krümmt, und mit einer Flüssigkeit so weit gefüllt ist, daß auch nur eine kleine Luftblase frei bleibt. Ist das In-

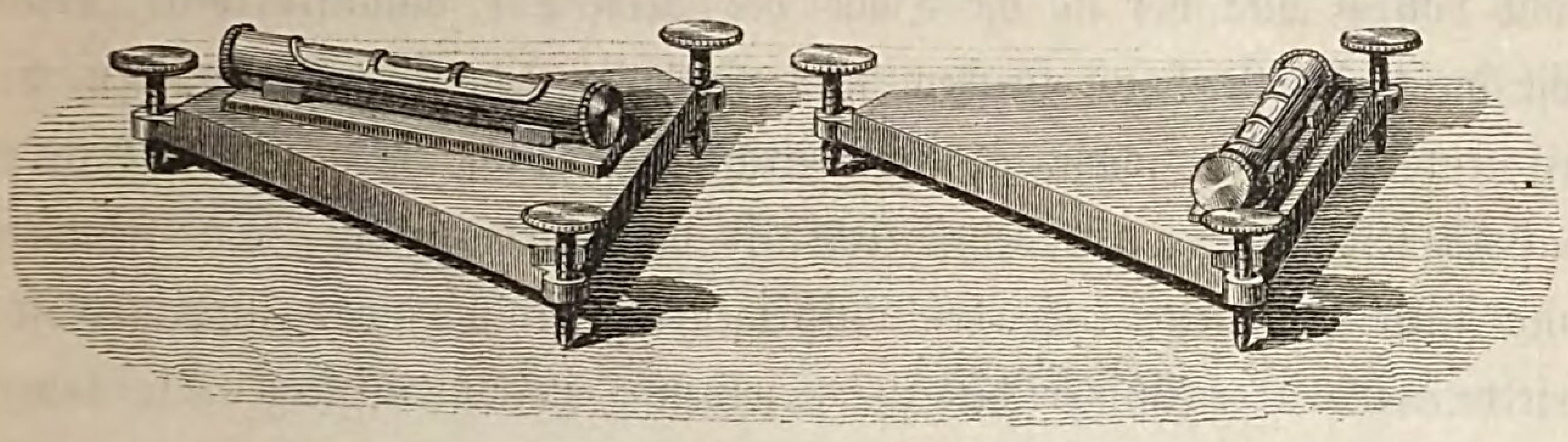


Fig. 23. Horizontale Einstellung einer Fläche mittels der Röhrenlibelle.

strument richtig gearbeitet, so wird es die Horizontalität einer Fläche dadurch anzeigen, daß sich die Luftblase in der Mitte der kreisförmigen Glastafel befindet.

Die Libellen geben weit genauere Resultate als die Wasserwage, und deshalb finden wir sie überall angewendet, wo es darauf ankommt, Flächen oder Linien, z. B. Axen von Fernrohren, in eine genau horizontale Stellung zu bringen: sie gehören daher zu den wichtigsten Hilfsinstrumenten, nicht allein der Geodäsie, sondern auch ganz besonders der Astronomie, wie überhaupt der Physik in allen ihren Theilen.

§ 4. Der Springbrunnen.

Auf dem Principe, daß sich die Flüssigkeiten in Gefäßen, welche untereinander in Verbindung stehen, in gleicher Höhe einzustellen streben, beruht weiter die Einrichtung der Springbrunnen, sowie der artesischen Brunnen, welche in ganz gleicher Weise wirken. Füllt man in den einen Schenkel einer in Form eines U gekrümmten Röhre Wasser ein, so wird dasselbe durch sein eigenes Gewicht auch in den anderen Schenkel hinaufgepreßt und kommt nicht eher zu Ruhe, als bis es sich in ihm bei b (Fig. 24) in derselben Höhe einstellt, als im ersten Schenkel bei a.

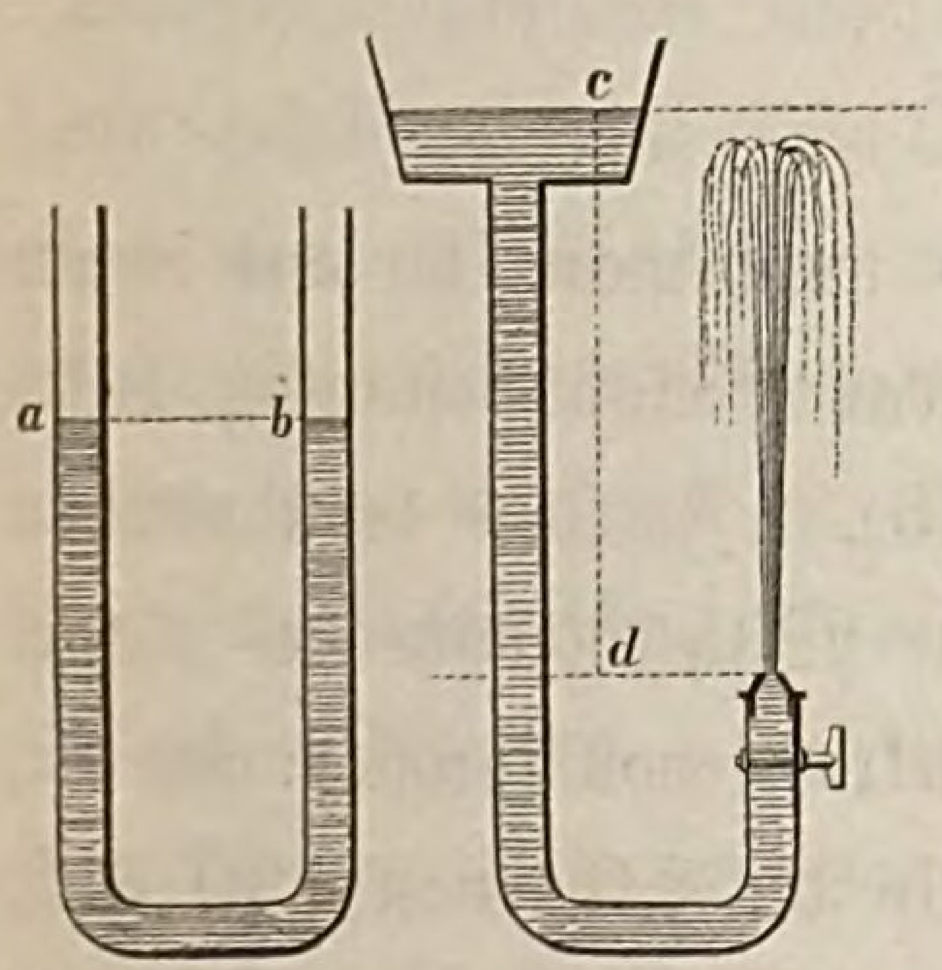


Fig. 24. Schematische Darstellung des Springbrunnen.

Denken wir uns nun, daß der zweite Schenkel viel kürzer und oberhalb durch einen Hahn verschlossen sei, so wird das Wasser gegen den Hahn

einen Druck ausüben, der so groß ist, daß durch ihn eine Wassersäule getragen werden könnte, welche bis an das Niveau c im offenen Schenkel hinauf reicht. Sobald man also den Hahn öffnet, so würde ein Wasserstrahl von d aus bis in die Höhe des Niveau c hinaufspritzen, wenn nicht durch die Reibung in den Röhren, durch den Widerstand, den die Luft entgegensetzt, sowie endlich durch den Stoß des zurückfallenden Wassers selbst ein Theil der Triebkraft vernichtet würde. Die letzteren Hindernisse bewirken, daß der aufsteigende Strahl etwas niedriger ist; derselbe wird aber immer bis zu derselben Höhe hinaufsteigen, so lange sich der Spiegel der Flüssigkeit in dem Gefäße, von welchem aus die Leitung gespeist wird, in gleicher Höhe erhält. Will man daher einen Springbrunnen, der als Zierde eines Gartens oder öffentlichen Platzes

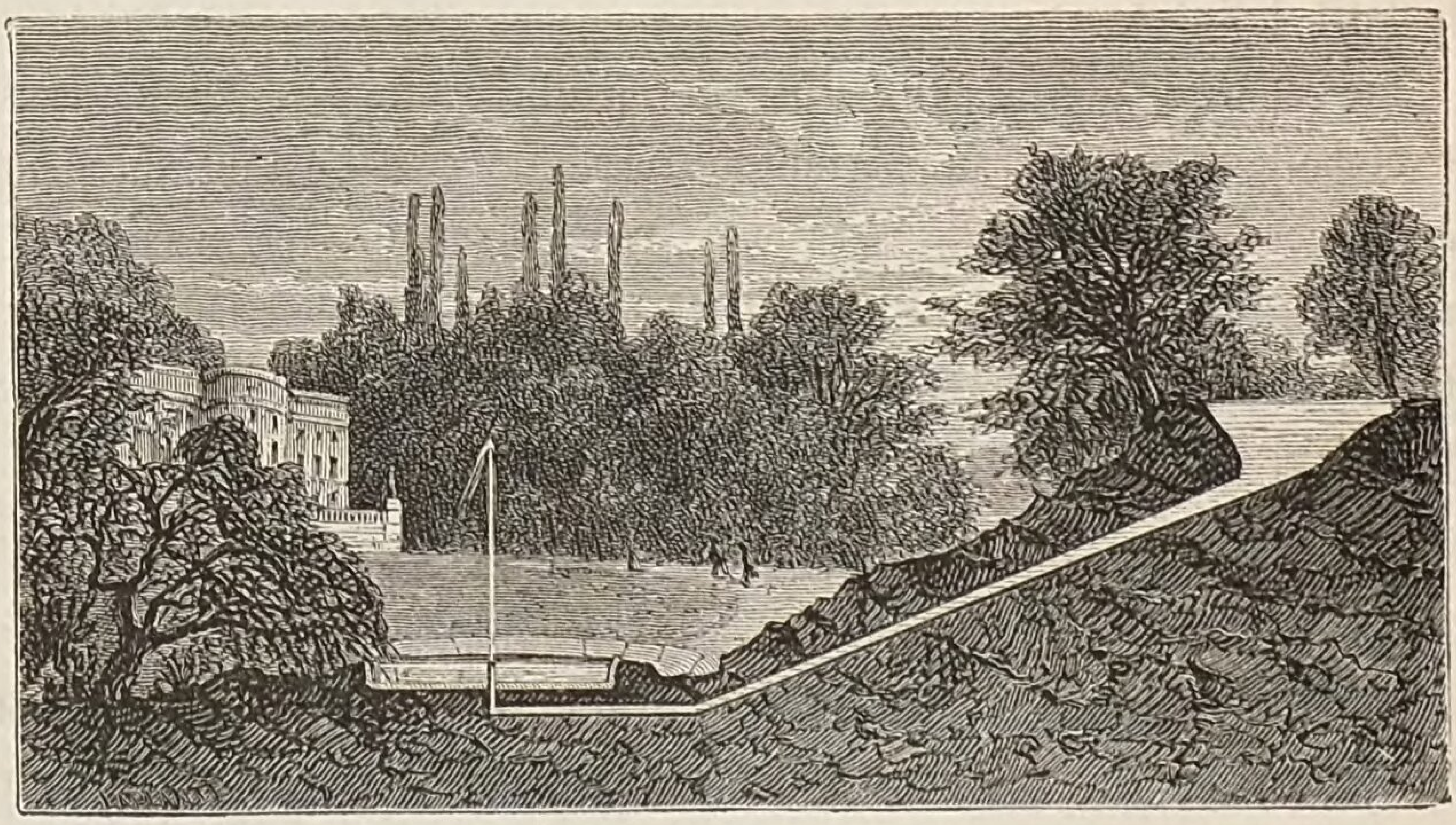


Fig. 25. Springbrunnen.

dienen soll, längere Zeit in Gang erhalten, so muß man ihn aus einem sehr weiten Gefäße speisen, oder besser noch das Gefäß beständig durch einen Bach von Neuem füllen lassen (Fig. 25). Zu den berühmtesten Springbrunnen gehört wohl der im Park von Wilhelmshöhe bei Kassel eingerichtete: derselbe wirft, wenn die Wasserkraft voll angespannt ist, einen Strahl von einem Fuß Durchmesser bis in die Höhe von 190 Fuß.

Allein lange Zeit, bevor das Gesetz der communicirenden Röhren bekannt war, hatte man Vorrichtungen, bei denen ein Wasserstrahl senkrecht in die Höhe spritzte: schon vor Jahrtausenden wußten die Aegypter, wie auch die Chinesen, daß, wenn sie an geeigneter Stelle in die Erde

bohrten, das Wasser aus dem Bohrloche nicht allein hervorquoll, sondern in einem Strahle aufstieg. Allein diese Kenntniß war gänzlich verloren gegangen und so kann man es als eine neue Entdeckung bezeichnen, als man etwa im 17. Jahrhundert, zuerst wohl in Ungarn, dann aber in der französischen Provinz Artois Bohrversuche mit demselben günstigen Erfolge anstellte; nach letzterer wurden diese Springbrunnen als artesische Brunnen bezeichnet. Das Princip, auf dem dieselben beruhen, ist genau dasselbe, wie das beim Springbrunnen wirksame, nur tritt an Stelle der Röhrenleitung eine geneigte, Wasser führende Schicht, welche zwischen anderen für das Wasser undurchlässigen Schichten eingeschlossen ist und bis zu einer Höhe hinaufsteigt, welche bedeutend über dem Punkte liegt, an dem die Bohrung vorgenommen wird. Will man also einen

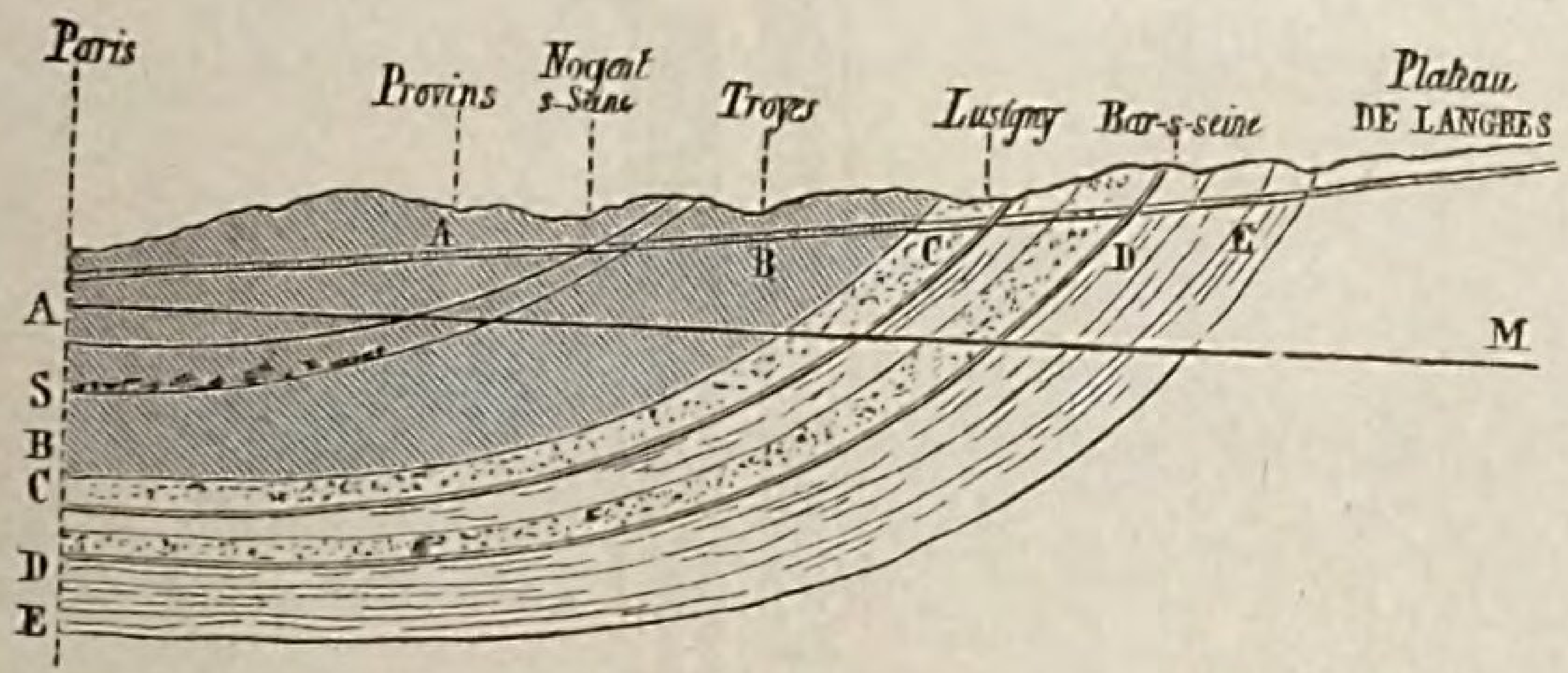


Fig. 26. Geologischer Querschnitt des Seinebeckens zwischen Paris und Langres.

artesischen Brunnen mit Aussicht auf Erfolg anlegen, so ist unbedingt erforderlich, daß man sich zuvor überzeugt, ob auch die Lagerung der Schichten, sowie die Verhältnisse des Grundwassers günstig sind. Ein solches günstiges Terrain zeigt Fig. 26, welche einen Durchschnitt der Schichten zwischen Paris und dem Hochlande von Langres darstellt: wir sehen obenauf feste Schichten, unter denen besonders Kreidelager von bedeutender Mächtigkeit wichtig sind, und unter diesen erst die wasserführenden Sandschichten D und E, welche ansteigen und erst im Hochlande von Langres zu Tage treten. Hier saugen dieselben das Wasser der atmosphärischen Niederschläge in sich ein und führen es in die Tiefe hinab. Werden nun im tieferen Lande die undurchlässigen Schichten durchbohrt, so wird das Wasser in dem Bohrloche aufsteigen und aus demselben hervorspritzen, sobald man auf die wasserführenden Sandschichten gelangt ist, wenn die letzten nur aus genügend großer Höhe herabsteigen.

Bis zu welcher Tiefe man bohren muß, läßt sich nicht voraus

bestimmen und so hatte man in der Pariser Vorstadt St. Germain bereits sieben Jahre gearbeitet, als man endlich im Februar 1841 in einer Tiefe von mehr als 500 m auf Wasser stieß, welches nun aber auch so reichlich hervorquoll, daß die nächsten Straßen auf kurze Zeit überschwemmt wurden. Von denselben Schichten werden auch die groß-

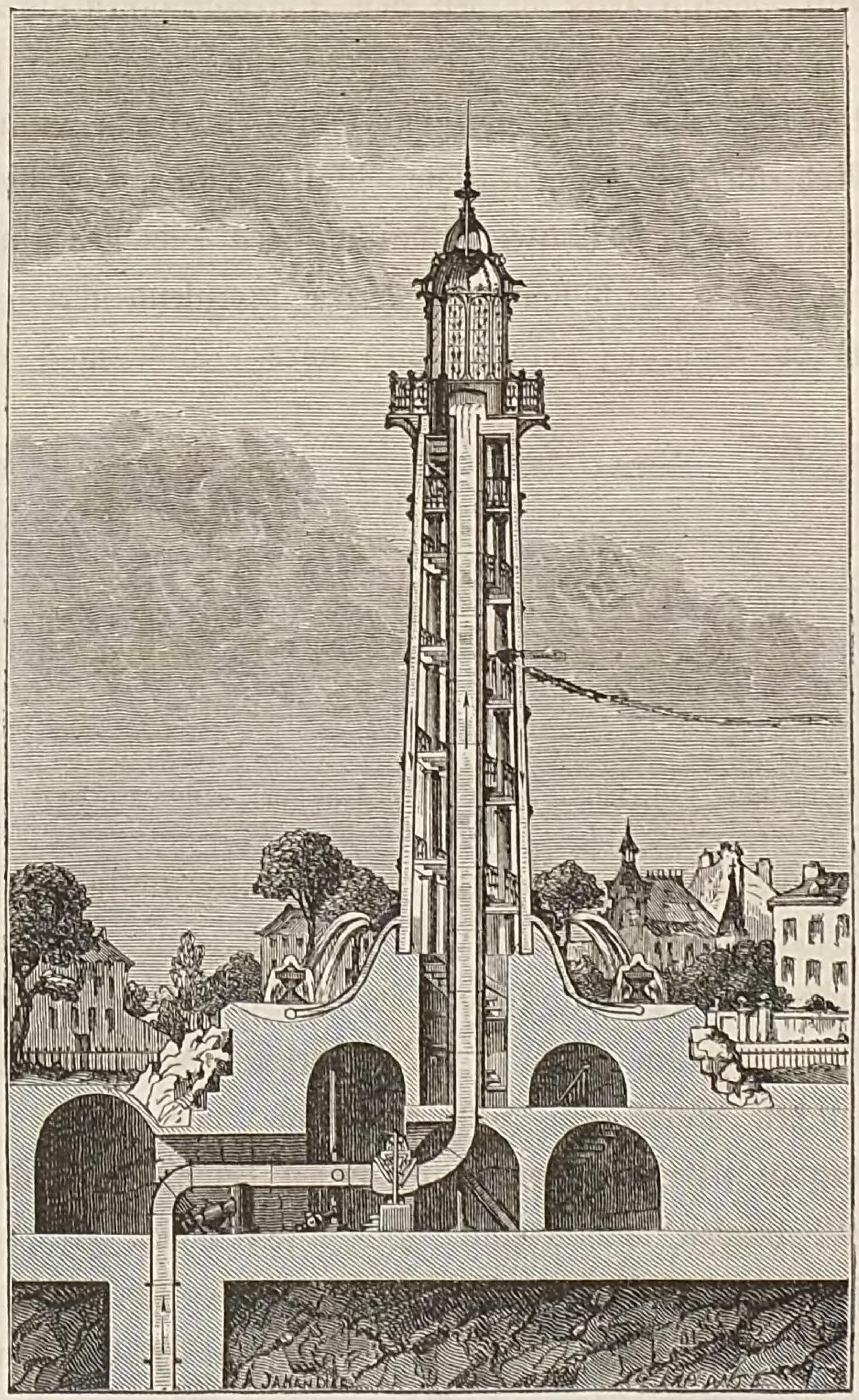


Fig. 27. Artesischer Brunnen von Passy.

artigen artesischen Brunnen von Grenelle und von Passy gespeist, von denen der letztere (Fig. 27) täglich eine Wassermenge von fast 17,000 Kubikmeter liefert. In Deutschland ist wohl der bedeutendste artesische Brunnen in Neusalzwerk bei Rehme in Westphalen: derselbe ist 729 m tief in die Erde gebohrt und liefert in jeder Minute 1460 Liter Wasser.

Daß das Bohren in so ungeheurer Tiefe mit sehr bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft ist, bedarf kaum der Erwähnung; und wenn auch jetzt an dem Verfahren der Bohrung wesentliche Verbesserungen angebracht sind, so geschieht es doch noch immer leicht, besonders bei sehr hartem oder ungleichmäßigem Gestein, daß der Erdbohrer oder der Hohlbohrer, welcher das gelöste Gestein zu Tage fördert, abbricht, und hierdurch wird jedes Mal das Werk bedeutend verzögert und der Aufwand, den es erfordert, wesentlich erhöht.

Drittes Kapitel.

Der Druck der atmosphärischen Luft.

§ 1. Pipette und Stechheber.

Es ist eine sehr bekannte Erscheinung, daß, wenn man ein Faß anzapfen will und schon den Hahn daran befestigt und geöffnet hat, die Flüssigkeit doch nicht eher auszufließen beginnt, als bis man den Spund gelüftet oder in den oberen Theil des Fasses ein Loch gebohrt hat. Wir brauchen wohl kaum zu erwähnen, daß diese Erscheinung aus der Wirkung des Luftdruckes zu erklären ist, welcher einseitig von Unten her gegen die Flüssigkeit drückt, so lange der Spund geschlossen ist, und sie am Ausfließen verhindert: sobald aber auch von Oben her die Luft durch eine Oeffnung zutreten kann, hebt sich der Druck von beiden Seiten auf und die Flüssigkeit folgt der Einwirkung der Schwerkraft und fließt aus. In ähnlicher Weise läßt sich der Druck der Luft durch folgenden sehr einfachen Versuch nachweisen: man fülle ein Glas bis an den Rand mit Wasser, lege darauf ein Blatt Papier, welches auf allen Seiten über den Rand übersteht, drücke dasselbe mit der Hand fest und kehre das Glas um, so kann man nun die Hand von dem Papiere entfernen und es wird doch nicht abfallen, trotzdem daß das Gewicht des Wassers im Glase vollständig auf ihm lastet, weil der Druck der Luft von Unten her dagegen wirkt und durch keinen Gegendruck aufgehoben wird.

In ganz ähnlicher Weise wirkt nun auch der Luftdruck bei der Pipette und beim Stechheber. Die Pipette (Fig. 28) ist eine Röhre, gewöhnlich aus Glas, die in ihrer Mitte ziemlich weit ist und nach Unten in eine lange und enge Spitze ausläuft, oben aber so ab-

geschliffen ist, daß man sie bequem mit dem Finger schließen kann. Will man mit diesem Instrumente eine Flüssigkeit aus einem Gefäße ausheben, so taucht man die Spitze der Röhre in die Flüssigkeit und saugt an der oberen Oeffnung, bis sich der weitere Theil der Röhre genügend gefüllt hat; hierauf verschließt man die obere Oeffnung mit dem Finger und hebt das Instrument aus dem Gefäße auf. Hierbei kann die Flüssigkeit aus der unteren Oeffnung nicht eher ausfließen, als bis man den Finger entfernt hat, weil sie vom Luftdrucke gehalten wird, und auch später kann man das Ausfließen sofort unterbrechen, wenn man den Finger wieder gegen die obere Oeffnung drückt. Sollte es sich um das Ausheben von Flüssigkeiten handeln, bei denen das Ansaugen unangenehm oder gar gefährlich ist, so führe man das obere Ende in einen Gummiballon ein, den man um dasselbe festbindet: man drücke denselben vor dem Versuche zusammen, tauche dann die untere Spitze in die Flüssigkeit ein und lasse den Ballon sich vermöge seiner Elasticität wieder ausdehnen, wodurch das Aufsaugen der Flüssigkeit bewirkt wird. Sehr bequem zu handhaben sind auch Pipetten, deren obere, ziemlich weite Oeffnung durch eine Gummiplatte abgeschlossen ist, welche man mit dem Daumen nach Innen drücken kann, und die sich dann durch ihre Elasticität wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückbegiebt, sobald man mit Drücken nachläßt.



Fig. 28. Pipette.

Genau dieselbe Form, wie die Pipette, hat auch der Stechheber, welcher zum Ausheben von Proben aus Wein- oder Bierfässern benutzt wird: nur ist dieses Instrument bedeutend größer und häufig nicht aus Glas, sondern aus Blech verfertigt. Auf demselben Principe aber beruhen auch zwei kleine Apparate, welche wir im Anschlusse hieran noch besprechen wollen, wenngleich sie eigentlich nur als Spielereien anzusehen sind: der Zaubertrichter und die unerschöpfliche Flasche.

Der Zaubertrichter ist, wie man aus Fig. 29 ersieht, ein Trichter mit doppelten Wänden, zwischen denen ein Raum frei bleibt, welcher einerseits nach Unten hin eine Oeffnung hat, durch welche die Flüssigkeit nach der Röhre des Trichters ausfließen kann; andererseits befindet sich

oberhalb in der Nähe des Henkels noch eine zweite Oeffnung, die man leicht mit dem Daumen schließen kann, wenn man den Henkel in der Hand hält. Verschließt man zunächst die Ausflußöffnung des Trichters und füllt man ihn mit einer gefärbten Flüssigkeit, z. B. mit Rothwein, so wird dieselbe auch in den Zwischenraum zwischen den Wänden aufsteigen, wenn man nur die kleine Oeffnung am Henkel frei läßt. Legt man hierauf den Daumen auf diese Oeffnung, während man die untere Oeffnung frei läßt, so wird die Flüssigkeit aus dem Innern des Trichters ausfließen, zwischen den Wänden aber zurückbleiben, weil sie dort vom Luftdruck, der nur einseitig von Unten wirken kann, getragen wird.

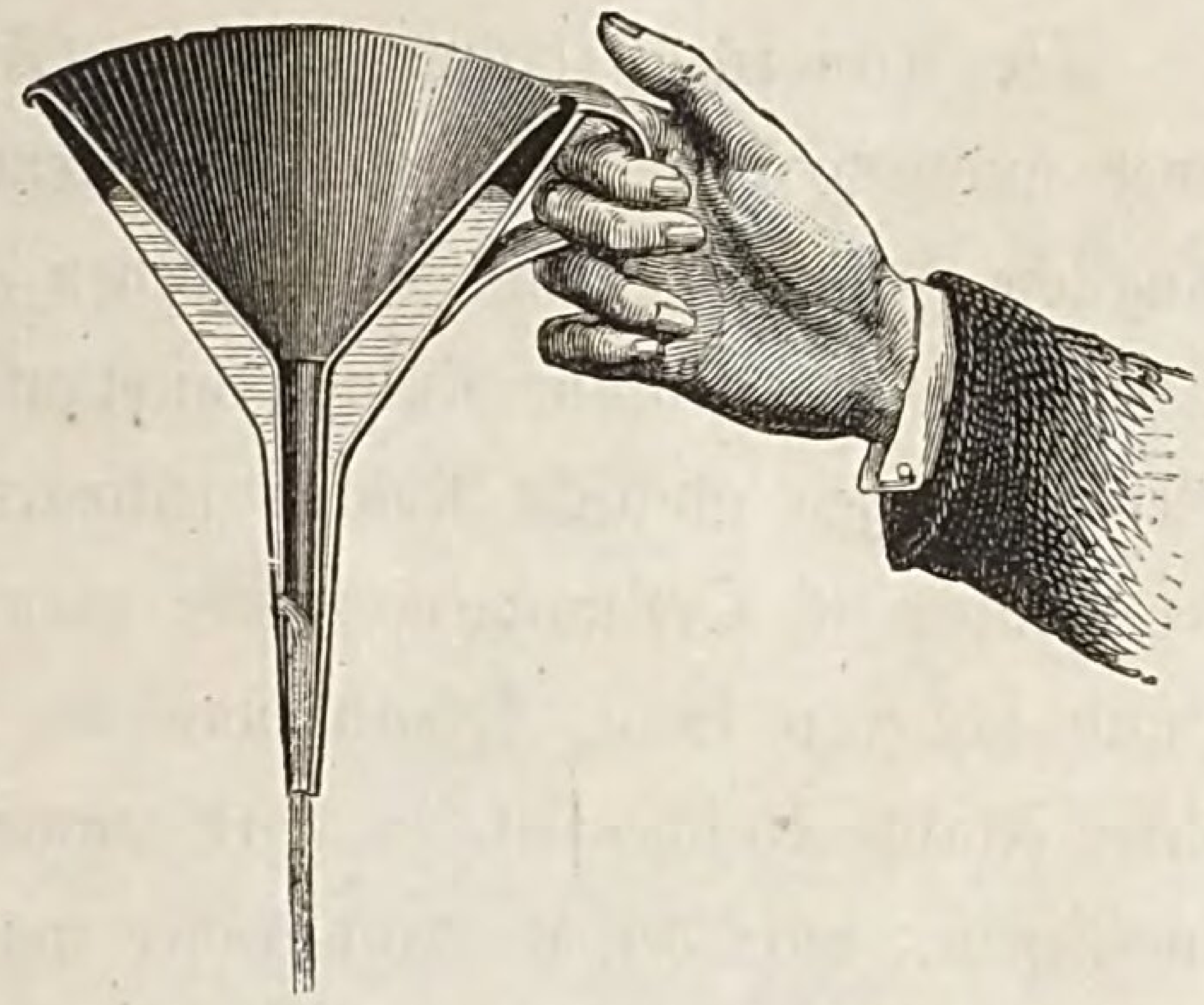


Fig. 29 Zaubertrichter.

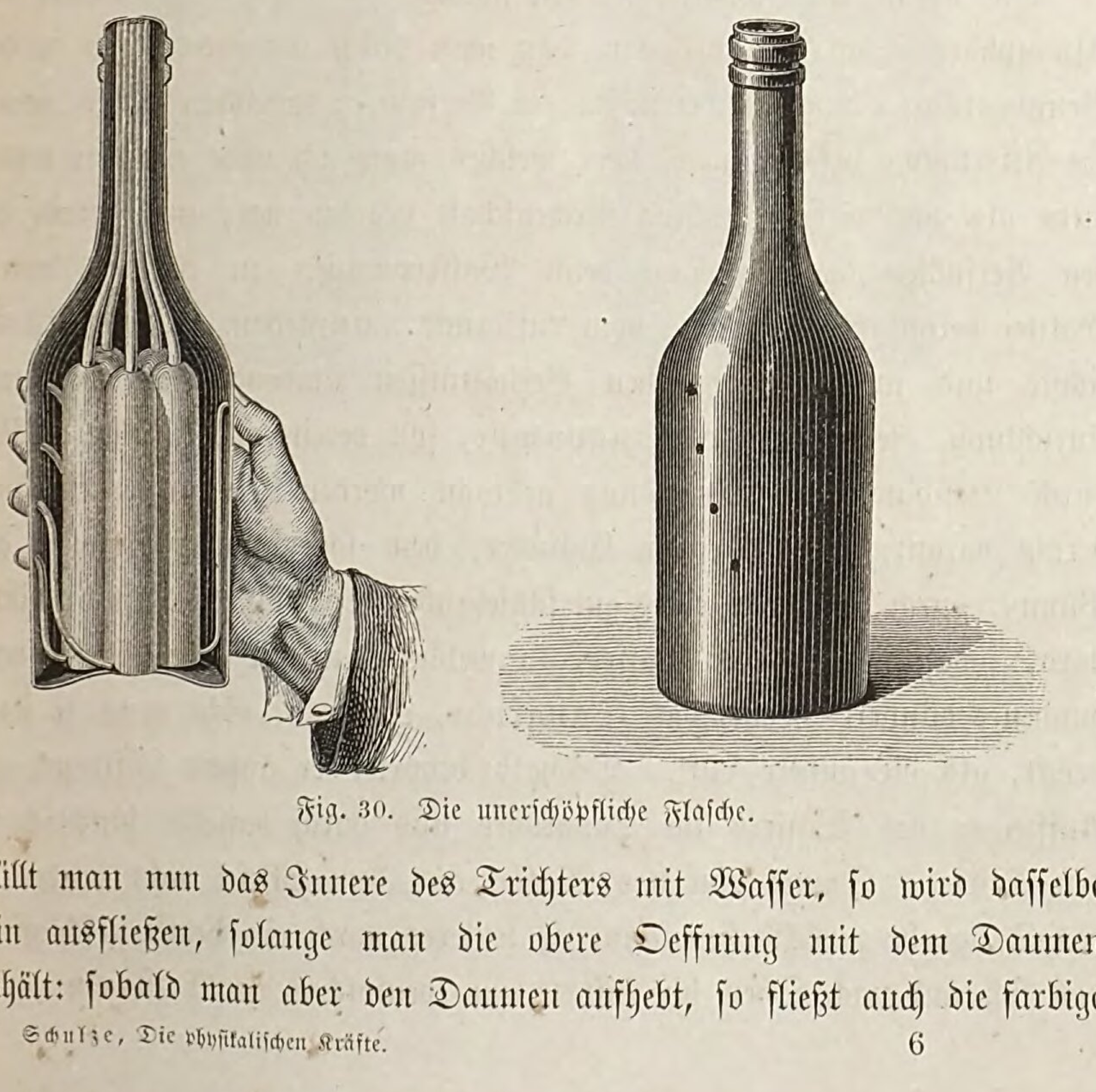


Fig. 30. Die unerschöpfliche Flasche.

Füllt man nun das Innere des Trichters mit Wasser, so wird dasselbe rein ausfließen, solange man die obere Oeffnung mit dem Daumen zuhält: sobald man aber den Daumen aufhebt, so fließt auch die farbige

Flüssigkeit aus dem Zwischenraume und färbt das ausfließende Wasser; so kann man durch wiederholtes Oeffnen und Schließen bewirken, daß bald farbiges, bald reines Wasser ausfließt.

Die unerschöpfliche Flasche (Fig. 30) hat äußerlich die Form einer undurchsichtigen Flasche, in ihrem Innern aber befinden sich fünf längliche Gefäße, die mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt sind und nach Oben in lange, dünne Röhren auslaufen; aber auch vom Grunde dieser Gefäße steigen ähnliche Röhren seitwärts auf und endigen in der Wand der Flasche in Oeffnungen, welche man leicht mit den fünf Fingern der Hand schließen kann, sobald man die Flasche aufhebt. Will man aus dieser Flasche einschenken, so wird immer nur aus dem Gefäße Flüssigkeit ausfließen, von dessen Ansatzrohre man den Finger entfernt hat, und man hat es somit in der Gewalt, nach Belieben eine der fünf Flüssigkeiten oder auch eine Mischung aus mehreren derselben ausfließen zu lassen.

§ 2. Die Pumpen.

Die älteste und wichtigste Verwendung, die man vom Drucke der Atmosphäre macht, besteht darin, daß man durch ihn das Wasser in den Brunnenröhren hinauftreiben läßt: ein Verfahren, das schon in den Zeiten des Alterthums bekannt war, über welches man sich aber erst vor wenig mehr als zweihundert Jahren Rechenschaft gegeben hat; und gerade bei den Versuchen die Vorgänge beim Wasserpumpen zu erklären wurde Galilei veranlaßt, die Lehre vom Luftdrucke aufzustellen. Die gebräuchlichste und unter gewöhnlichen Verhältnissen anwendbarste Brunneneinrichtung, die sogenannte Saugpumpe, soll bereits 130 Jahre v. Chr. durch Ktesibius zur Anwendung gebracht worden sein; ihre Wirkung beruht darauf, daß in einem Cylinder, dem sogenannten Stiefel der Pumpe, durch Aufziehen eines gut schließenden Kolben die Luft verdünnt wird, sodaß sie auf das Wasser, in welches ein mit dem Stiefel verbundenes dünneres Rohr, das Saugrohr, eintaucht, nicht mehr so stark drückt, als die äußere Luft. Deshalb bewirkt der äußere Luftdruck ein Aufsteigen des Wassers im Saugrohre und durch dasselbe hindurch in den Stiefel. Damit nun das Wasser aus dem Stiefel nicht wieder in das Saugrohr zurückfließen kann, ist letzteres durch ein Ventil geschlossen, das sich nur nach Oben hin öffnet; ein ebensolches Ventil ist aber auch

in einer Durchbohrung des Kolben selbst angebracht, und durch dieses entweicht beim Herabdrücken des Kolben die Luft, die sich unter ihm noch befindet, oder, wenn keine Luft mehr vorhanden ist, das Wasser, das sich bereits im Stiefel angesammelt hat.

Eine Saugpumpe (Fig. 31) läßt sich aber nur bei Brunnen anbringen, in welchen der Wasserspiegel nicht tiefer liegt als etwa 7—8 m unter dem Punkte, bis zu welchem der Kolben aufsteigen muß, weil sonst der Druck der Atmosphäre nicht genügen würde, um das Wasser

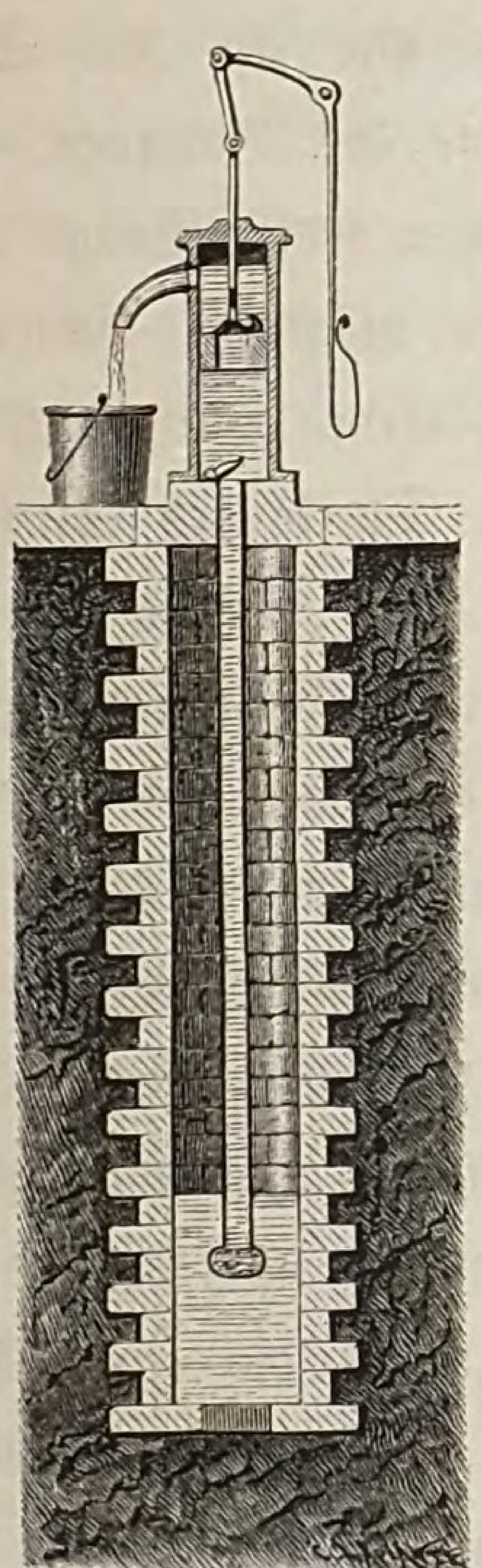


Fig. 31. Saugpumpe.

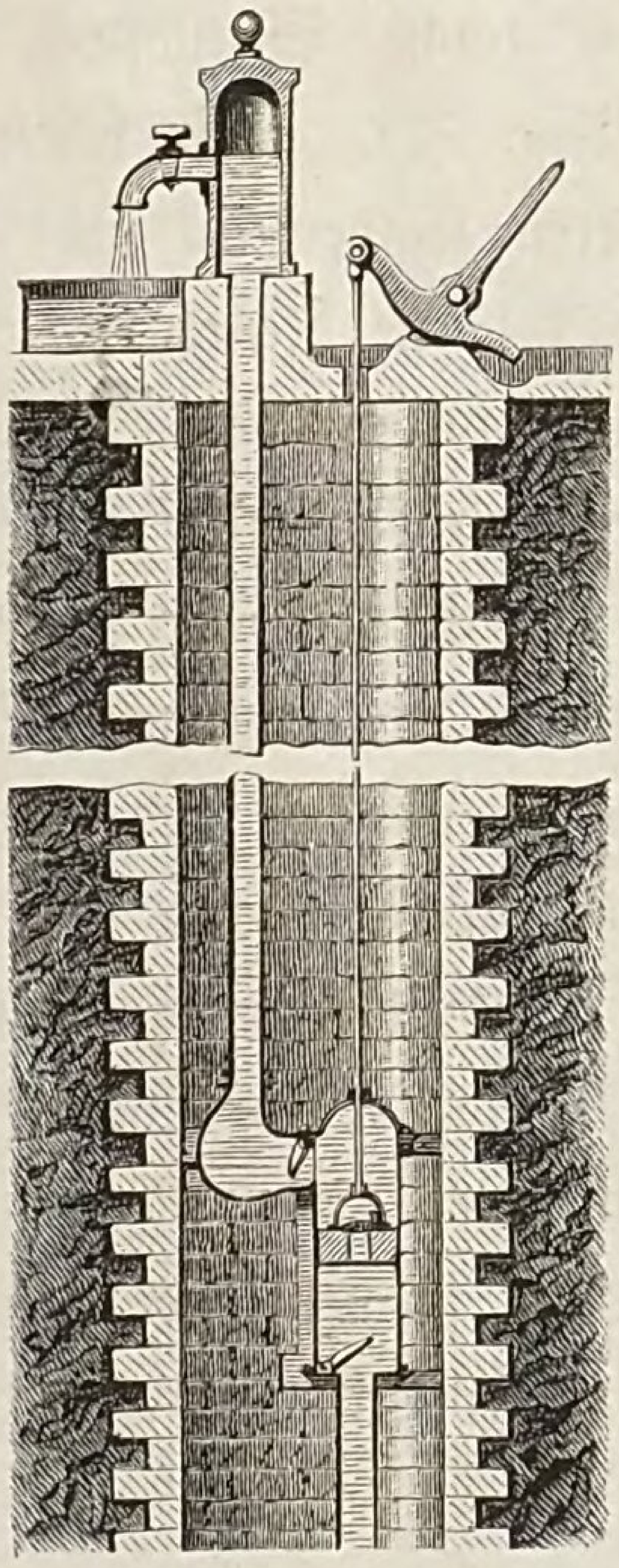


Fig. 32. Saugdruckpumpe.

bis oben hinauf zu treiben. Nach der Theorie könnte zwar der Luftdruck bei einem Barometerstande von 760 mm eine Wassersäule von mehr als 10 m im Gleichgewicht halten: in der Praxis aber muß man sich mit einer geringeren Höhe begnügen; denn erstens ist unter dem Kolben von Anfang herein Luft in der Röhre eingeschlossen, welche durch das Pumpen, wenn das Wasser nicht bis an den Kolben heranreicht, verdünnt, niemals aber vollständig entfernt wird, sodaß in der Röhre immer noch ein kleiner Gegendruck bleibt, zweitens läßt sich Kolben, Ventil und Röhre

nicht wohl so vollkommen dichten, daß nicht immer ein wenig Luft von Außen eindringen könnte, und drittens enthält das Wasser immer kleine Mengen Luft aufgelöst, welche sich, sowie der äußere Druck nachläßt, in Form von Blasen sammelt, aufsteigt und die Röhre füllt. Aus diesen Gründen erfolgt das Aufsteigen in der Saugpumpe nicht auf größere Höhe, als etwa 7—8 m.

Wenn die Tiefe des Brunnen bedeutender ist, so reicht die Saugpumpe allein nicht aus, sondern es muß an ihr eine Einrichtung angebracht werden, durch welche das Wasser auf größere Höhe hinaufgetrieben wird: eine solche Einrichtung aber finden wir an der Saugdruckpumpe (Fig. 32). Wir sehen in der Tiefe des Brunnen eine Saugpumpe, deren Kolben an einer ziemlich langen Kolbenstange befestigt ist, welche durch den Deckel des Stiefels mit möglichst dichtem Schlusse hindurchgeht und bis an die Oberfläche der Erde hinanreicht, wo sie an einem Hebelwerke befestigt ist. Am oberen Theile des Stiefels ist nun seitwärts das Steigrohr befestigt, welches man bis zu beliebiger Höhe, z. B. bis in die einzelnen Stockwerke eines Gebäudes, hinaufführen kann, und in welchem sich ebenfalls ein Ventil befindet, das zwar den Austritt des Wassers aus dem Stiefel, nicht aber den Rücktritt desselben gestattet. Sobald also die Saugpumpe dem Wasserspiegel so nahe liegt, daß beim Pumpen das Wasser über den Kolben hinaufsteigt, so wird es beim weiteren Heben des Kolben auch in das Steigrohr hineingepreßt und kann bis zu beliebiger Höhe steigen, wenn nur die Kraft, welche auf das Hebelwerk wirkt, groß genug ist, um die ganze Wassersäule zu heben.

Bei den beiden bisher erwähnten Pumpen erfolgt das Ausfließen stoßweise beim jedesmaligen Heben des Kolben. Um diesen Uebelstand zu vermeiden und ein mehr gleichmäßiges Fließen zu bewirken, hat man Saug- und Druckpumpen angewendet, welche gleichzeitig doppelt wirken, d. h. sowohl beim Hin-, als Hergange des Kolben auf der einen Seite das Wasser aufsaugen, auf der anderen Seite aber in das Steigrohr hinaufdrücken. Die Einrichtung einer solchen Pumpe läßt sich aus Fig. 33 erkennen: wir sehen, wie das Saugrohr C, und ebenso das Steigrohr C′ sowohl am unteren, als auch am oberen Ende in den Stiefel einmündet; die beiden Mündungen A und B′ des Saugrohres sind durch Klappen verschlossen, welche sich nur nach dem Inneren des

Stiefels zu öffnen: umgekehrt befinden sich in den Mündungen B und A′ des Steigrohrs Klappen, welche vom Stiefel nach Außen schlagen; der Kolben, welcher sich im Stiefel hin- und herbewegt, ist nicht durchbohrt und die Kolbenstange geht durch eine Stopfbüchse im Deckel, welche einen guten Abschluß bewirkt. Wenn der Kolben gehoben wird, wie in unserer Zeichnung dargestellt ist, so wird die Luft unter ihm verdünnt und der äußere Luftdruck preßt das Wasser durch die Klappe A ein, Luft oder Wasser dagegen im oberen Raume V wird durch die Klappe A′ in das Steigrohr getrieben, die Klappen B und B′ endlich bleiben geschlossen. Sobald sich dagegen der Kolben nach Unten bewegt, so schließen sich die Klappen A und A′, das Wasser unter dem Kolben wird durch B in das Steigrohr getrieben und dafür tritt in den Raum V über dem Kolben das Wasser durch B′ ein. Hierdurch wird bewirkt, daß das Strömen des Wassers immer nur eine kaum merkliche Unterbrechung erleidet in dem Augenblicke, wenn der Kolben die Richtung seiner Bewegung umkehrt. Man findet diese Art Pumpen hauptsächlich da im Gebrauche, wo es gilt eine größere Wassermenge auszuschöpfen.

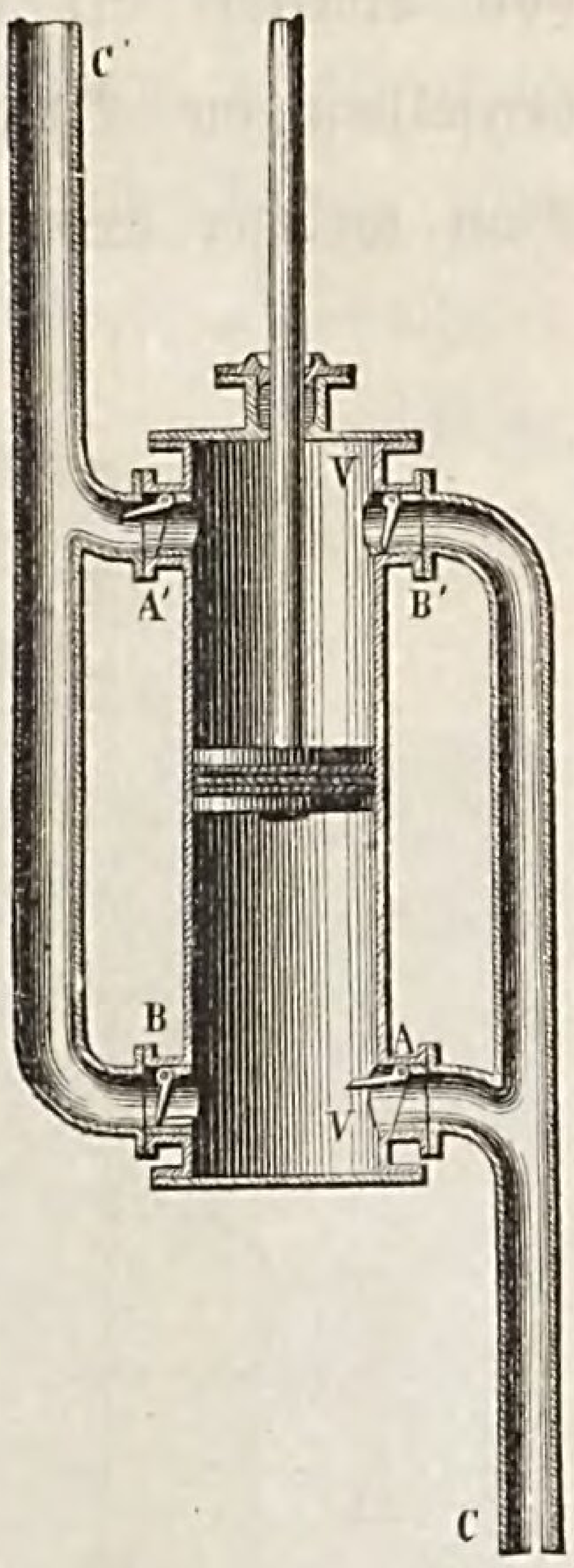


Fig. 33. Doppelwirkende Pumpe.

Je nach dem Zwecke, den die Pumpen erfüllen sollen, und je nach der Schwierigkeit, welche zu überwinden ist, finden wir die Vorrichtungen, durch welche der Kolben in Bewegung versetzt wird, vielfach abgeändert: für den alltäglichen Bedarf des Hauses genügt ein zweiarmiger Hebel, der Pumpenschwengel (Fig. 34), der um einen Punkt drehbar ist und an seinem kürzeren Arme die Kolbenstange trägt, während sich am längeren Arme ein Handgriff befindet; soll eine Pumpe längere Zeit in Gang erhalten werden, so befestigt man ihre Kolbenstange T (Fig. 35) mittels eines Gelenkes und einer Kurbelstange R an einer Kurbel C, auf deren Axe ein Schwungrad V aufsitzt, welches durch eine Handhabe in Umdrehung versetzt wird. Braucht man dagegen bei sehr großen Pumpen eine sehr bedeutende Kraft, so läßt man dieselben entweder durch Pferde, welche in einem Göpel gehen, oder durch eine andere Triebkraft, wie durch Dampf, oder durch Wasser- oder Windmühlen in Gang setzen.

Allenthalben, besonders auch in allen größeren Städten hat man Pumpwerke in großem Maßstabe errichtet, welche bedeutende Mengen von Wasser oft aus sehr großen Entfernungen herbeischaffen und mit denselben die Brunnen und die Behälter in den Häusern selbst speisen. Von welcher Wichtigkeit die Anlage solcher Wasserwerke für Städte sind,

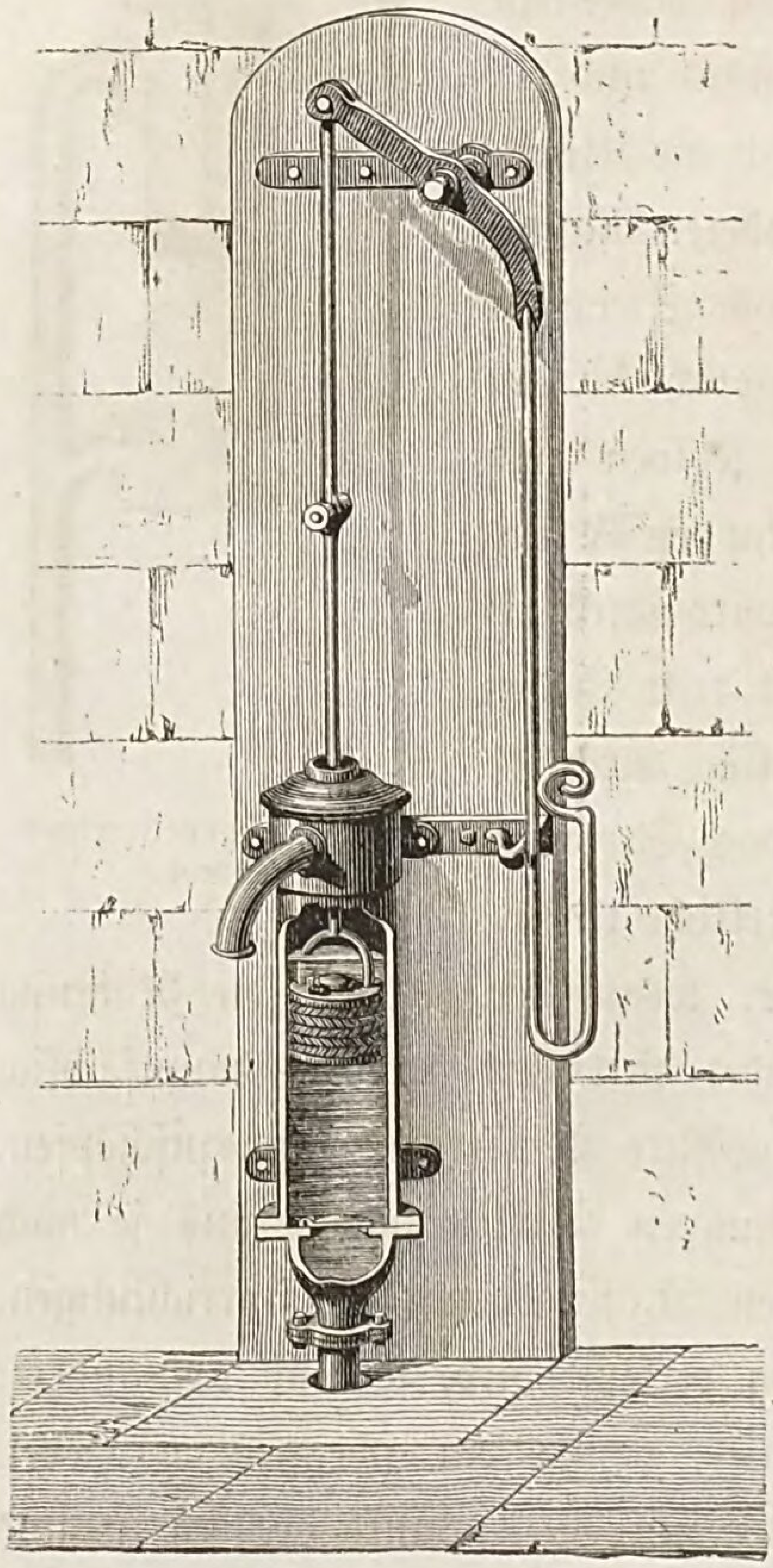


Fig. 34. Gewöhnliche Pumpe mit Schwengel.

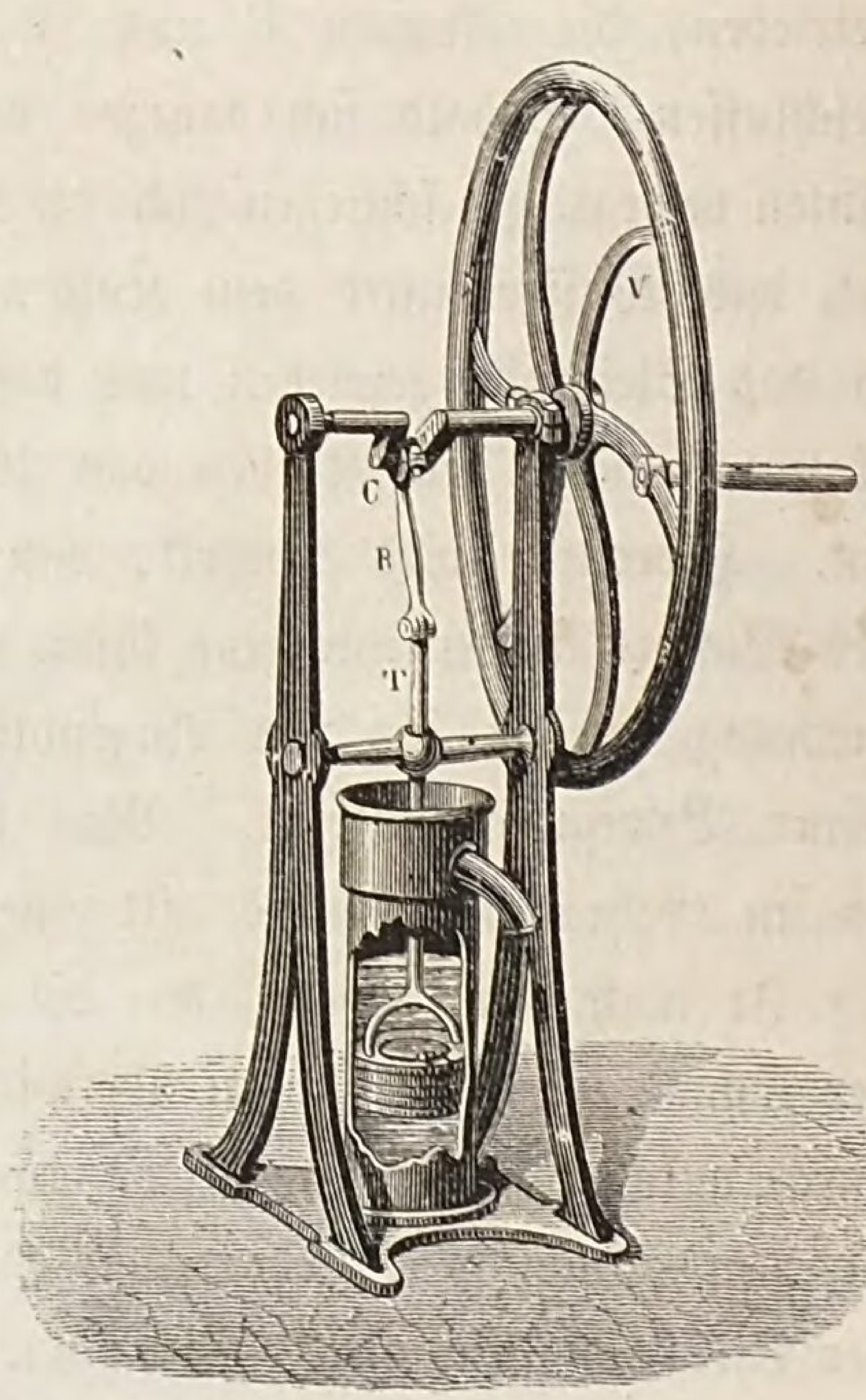


Fig. 35. Pumpe mit Schwungrad.

in denen sich die Bevölkerung auf einen dichten Raum eng zusammendrängen muß, begreift man leicht, wenn man bedenkt, wie durch dieselben das wirthschaftliche Leben im Hause erleichtert, wie besonders die Reinlichkeit gefördert und dadurch der Gesundheitszustand wesentlich gehoben, und endlich bei Feuersgefahr eine schnelle Hilfe herbeigeschafft werden kann. Von der Beschreibung einzelner dieser Werke müssen wir hier freilich absehen: wir beschränken uns auf ein Beispiel, bei dem sich

recht deutlich zeigt, welche große Vortheile die Fortschritte der Technik gewähren. In Marly an der Seine unterhalb Paris waren früher 14 Wasserräder aufgestellt, welche 221 Pumpen in Gang setzten und durch diese das Wasser in die königlichen Schlösser von Marly und Versailles bis zu einer Höhe von 500 Fuß hinauftrieben; in neuerer Zeit aber hat man an deren Stelle nur vier Wasserräder aufgestellt, deren jedes vier Pumpen in Gang setzt (Fig. 36), und erreicht damit

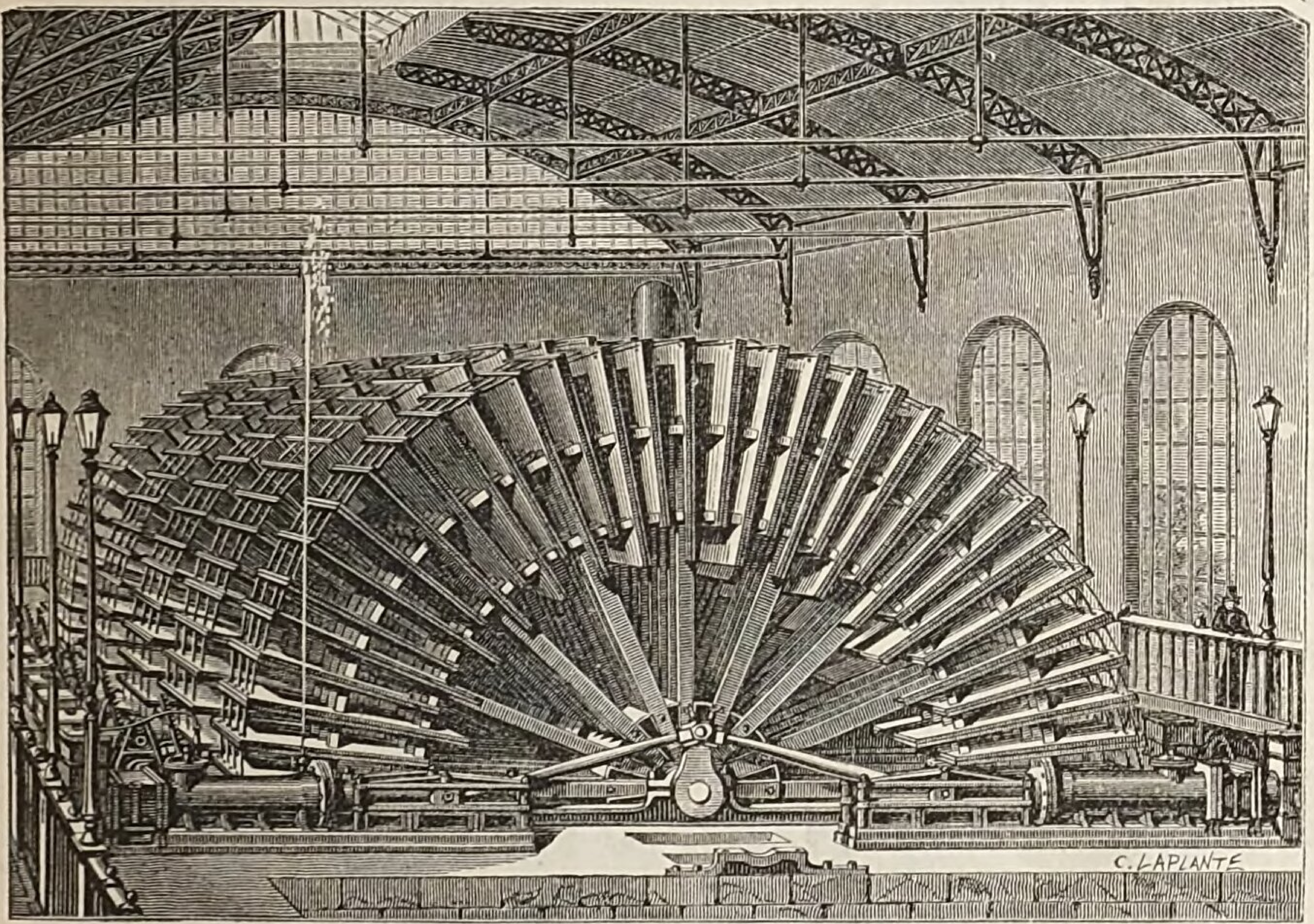


Fig. 36. Neue Wasserräder und Pumpen in Marly.

denselben Zweck noch besser, als zuvor, indem die Wassermenge, welche das neue Werk liefert, noch größer ist, als die durch die alten Maschinen gelieferte Masse. In Holland wurden früher die ungeheueren Austrocknungsarbeiten durch Pumpen ausgeführt, welche durch Windflügel in Bewegung gesetzt wurden, und noch im Jahre 1840 waren mehr als 2500 Windmühlen für diesen Zweck im Gange: zu derselben Zeit aber war schon zur Austrocknung des Harlemer Meeres eine Dampfmaschine von 350 Pferdekräften aufgestellt, welche 11 Pumpen in Bewegung setzte und durch diese täglich im Mittel 475000 Kubikmeter Wasser förderte.

Bei den Pumpen, durch welche sehr große hydraulische Arbeiten

ausgeführt werden sollen, müssen die einzelnen Theile sehr solid gearbeitet sein, und so wendet man bei ihnen an Stelle eines einfachen Kolben, der sich im Stiefel bewegt, lieber einen massiven Metallcylinder, den **Bramahkolben** oder **Plungerkolben** (Fig. 37) an, welcher gut schließend durch den Deckel des Stiefels hindurchreicht.

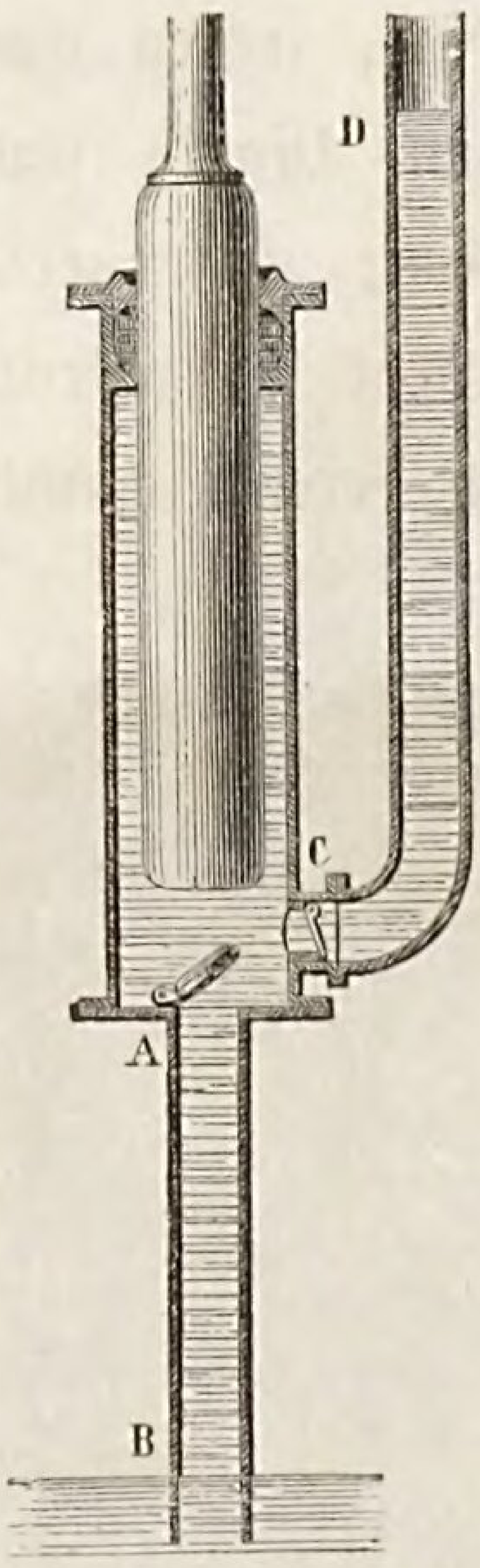


Fig. 37. Plungerkolben.

Zum Schlusse wollen wir noch einige Einrichtungen von Pumpen besprechen, bei denen die auf- und abgehende Bewegung des Kolben durch eine andere Bewegungsweise ersetzt ist, und zuerst die **oscillirende Pumpe** nach **Bramah** (Fig. 38) betrachten. Wir sehen, wie das Saugrohr C in eine Kammer mündet, welche oben durch zwei Ventile a und a′ abgeschlossen ist, die sich beide nur nach Oben öffnen und in zwei durch eine Scheidewand vollständig getrennte Räume A und A′ führen. Ueber diesen Räumen befindet sich ein Kolben, welcher durch eine Stange, die mit der Kurbel Om in Verbindung steht, in eine um die Axe O′ oscillirende Bewegung versetzt werden kann. Wie sich dabei die Klappen D und D′ schließen und öffnen, und wie dadurch das Wasser bei C angesaugt und in das Steigrohr hinaufgedrückt wird, ist aus der Zeichnung sehr leicht zu erkennen.

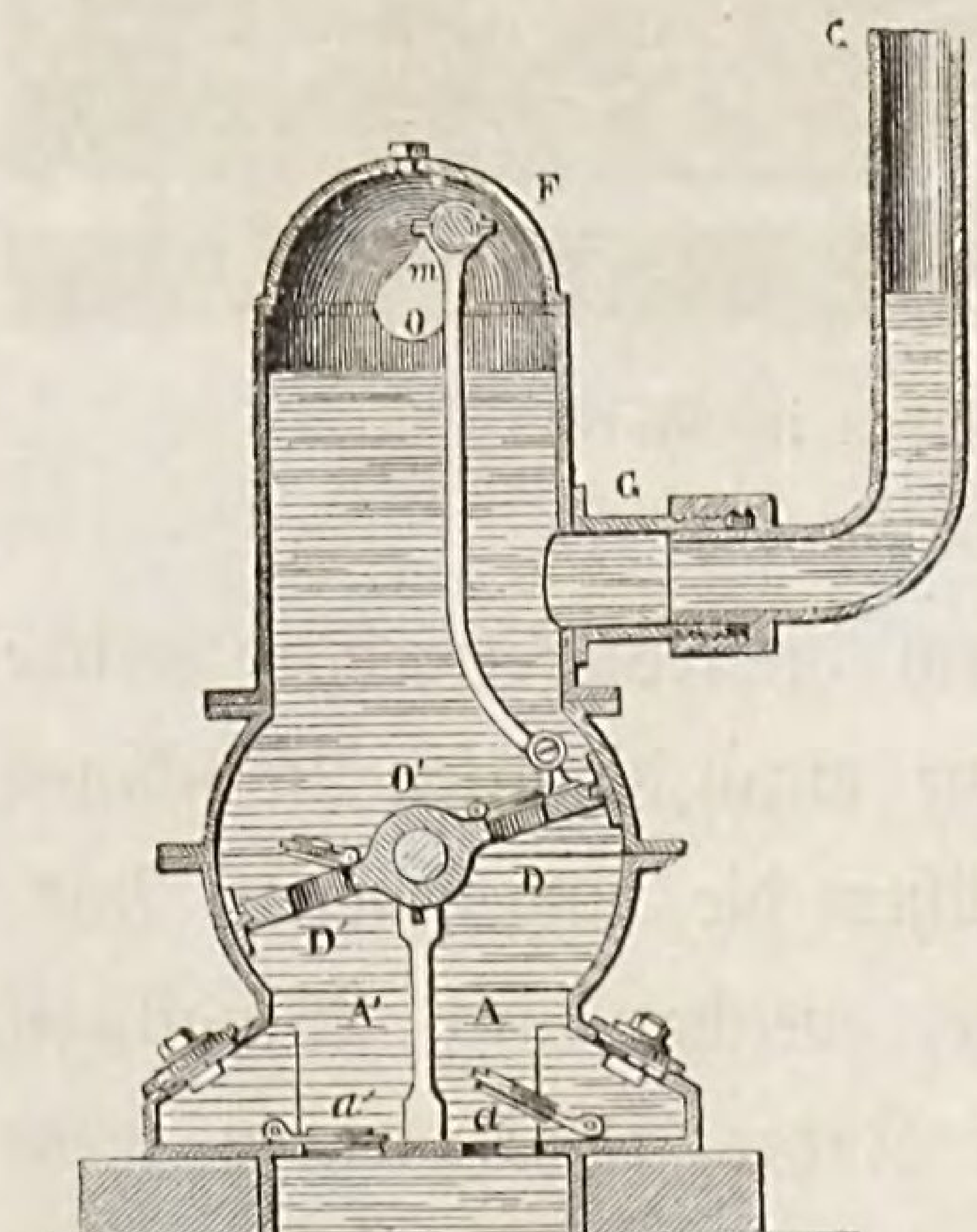


Fig. 38. Oscillirende Pumpe nach Bramah.

Auch die rotirende Bewegung ist beim Betriebe der Pumpen zur Anwendung gekommen: bei der **rotirenden Pumpe** von **Stoltz** Fig. 39) z. B. sehen wir das Saugrohr C und das Steigrohr C′ durch die Oeffnungen ab und a′ b′ in eine kreisförmige Trommel B einmünden, in welcher sich ein ihr concentrischer Ring A umdreht. Dieser Ring trägt vier Scheidewände p, die den Raum, der zwischen ihm und der Trommel frei bleibt, hermetisch abschließen. Wird der Ring in der Richtung des

Pfeiles weiter gedreht, so entsteht im unteren Theile hinter der Scheidewand ein luftverdünnter Raum, in den das Wasser aus dem Saugrohre eindringen muß; durch die nächste Scheidewand wird dasselbe dann weitergetrieben, bis es schließlich in das Steigrohr gelangt.

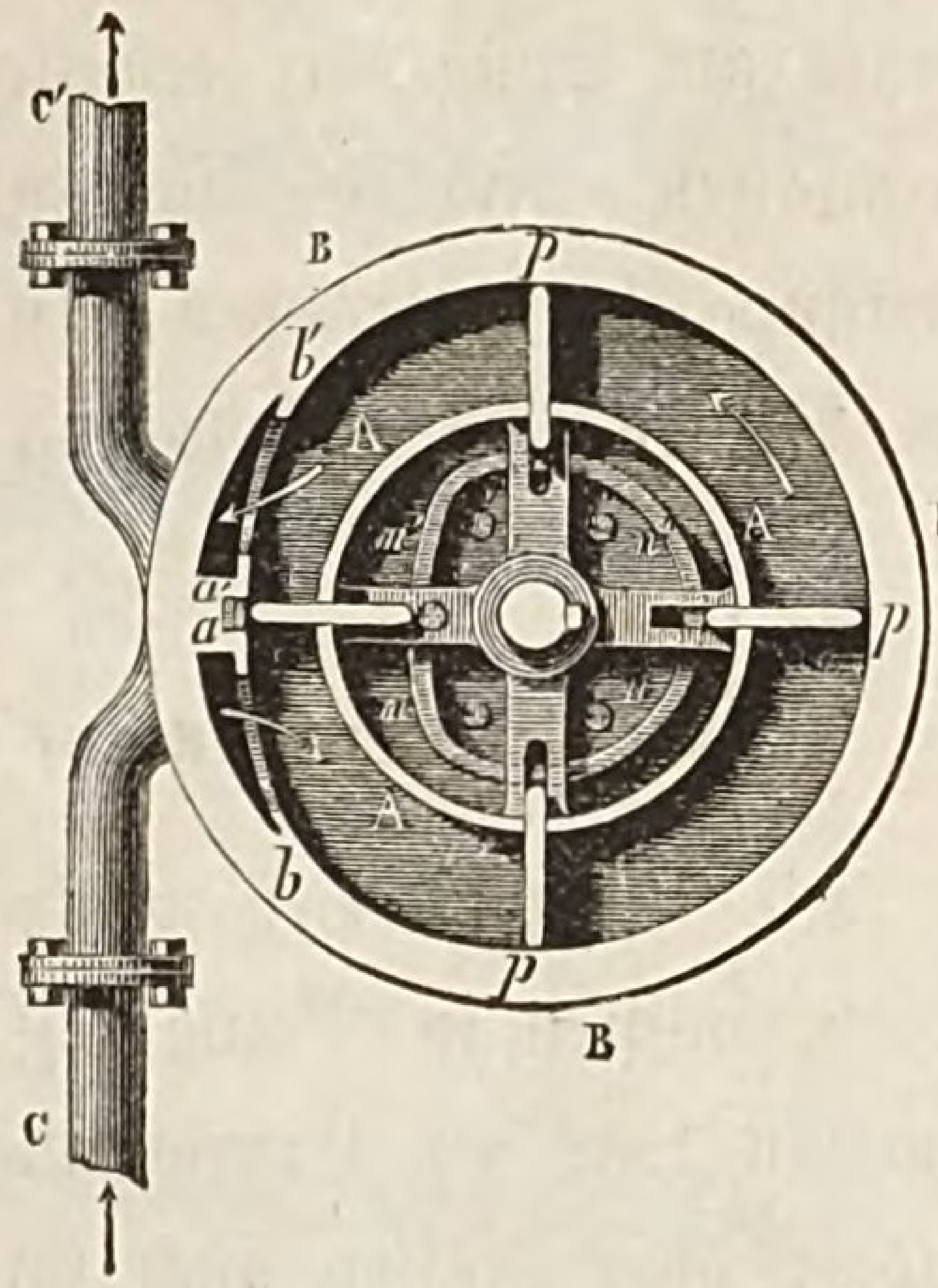


Fig. 39. Rotirende Pumpe von Stoltz.

Sehr gute Erfolge kann man auch durch die rotirende Pumpe von Behrens (Fig. 40) erzielen, welche auf demselben Principe beruht, wie eine von demselben Physiker erfundene Dampfmaschine, die wir später im vierten Buche besprechen werden. In einer doppelten Trommel A, in welche das Saugrohr bei B einmündet und in der sich bei D eine Ausflußöffnung befindet, drehen sich unter der Einwirkung einer äußeren Kraft zwei durch ein Räderwerk mit einander verbundene Axen C und

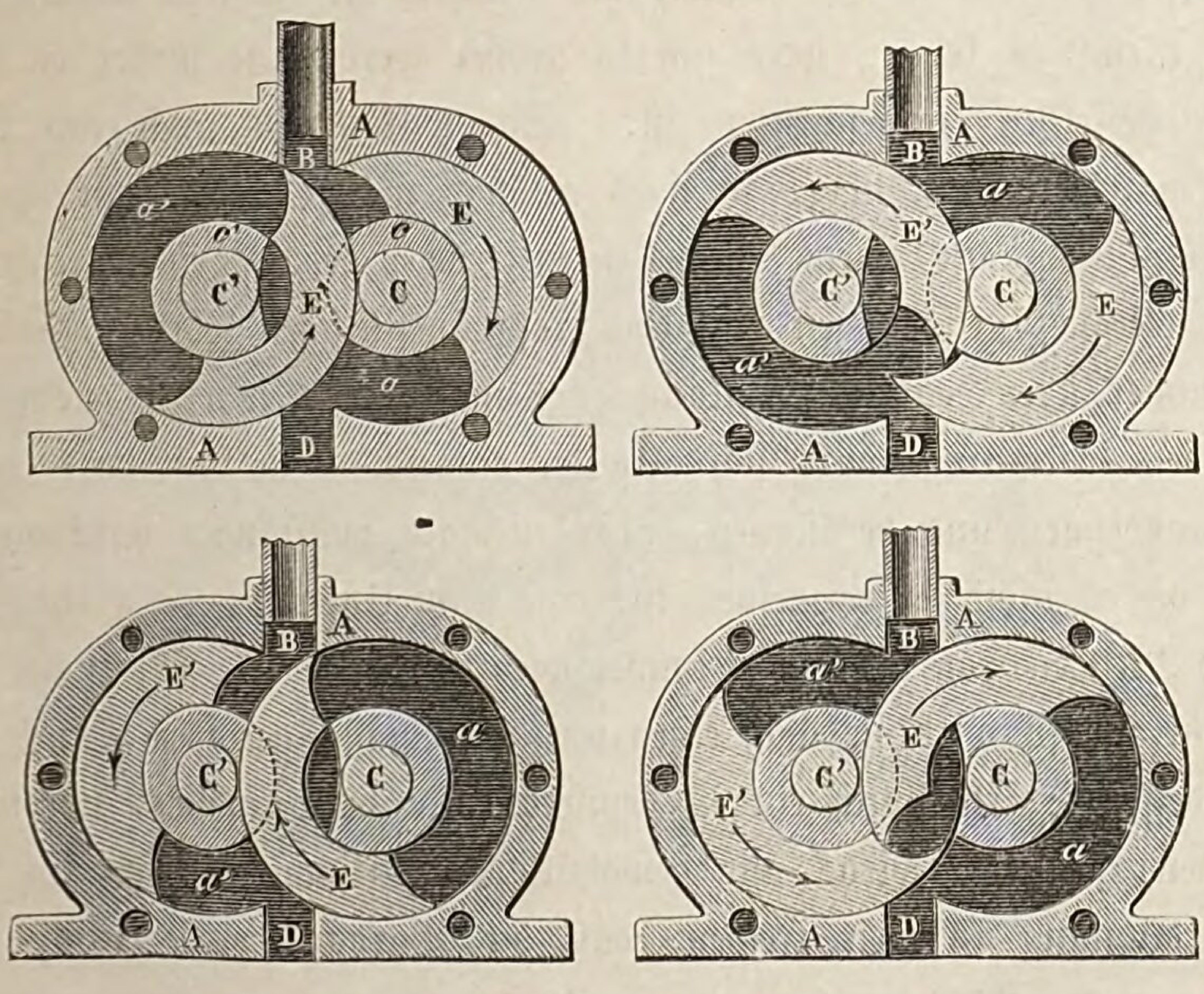


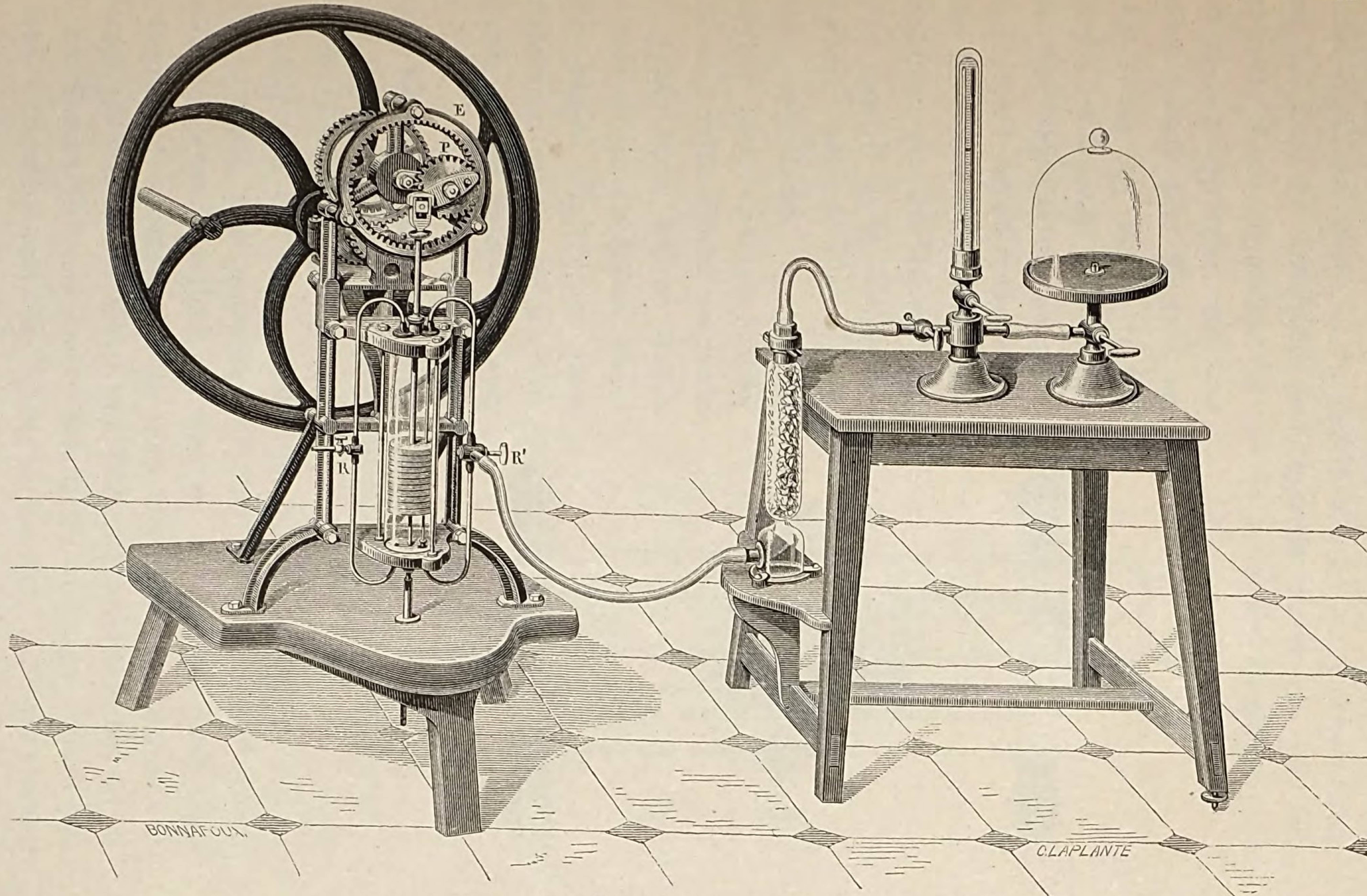
Fig. 40. Rotirende Pumpe von Behrens.

C' in entgegengesetztem Sinne, aber mit gleicher Geschwindigkeit. Jede dieser]Axen trägt einen Kolben (E und E'), welcher die Form eines

Theiles eines massiven Ringes hat, der den kreisförmigen Raum (a und a') zwischen Axe und Trommel, so weit als er reicht, vollständig ausfüllt. Wie die beiden Kolben abwechselnd durch ihre Bewegung den Raum am Saugrohre erweitern und dadurch das Einfließen des Wassers veranlassen, und wie sie andererseits das aufgesaugte Wasser nach der Oeffnung D hindrängen, ist in der Abbildung, welche die Kolben in vier Phasen ihrer Bewegung darstellt, deutlich zu sehen.

§ 3. Luftpumpe und atmosphärische Eisenbahn.

Die Luftpumpen, welche zur Anstellung wissenschaftlicher Versuche dienen, müssen in Bezug auf die Einrichtung der Ventile in ihrer Construction von der Einrichtung der Wasserpumpen etwas abweichen, besonders aber müssen auch ihre Kolben an den Seitenwänden des Stiefels viel genauer anschließen, weil die Luft oder die Gase, welche mit ihrer Hilfe aus einem Gefäße entfernt werden sollen, sich durch alle etwa frei bleibenden Zwischenräume mit viel größerer Leichtigkeit hindurch drängen: und dieses Streben in den Raum, aus welchem sie entfernt worden sind, wieder zurück zu kehren, wird um so größer werden, je weiter die Entleerung desselben fortgeschritten ist. So vollkommen auch eine Luftpumpe gearbeitet sein mag, so wird es doch nie gelingen, mit ihr die Luft vollständig aus einem Raume zu entfernen: denn darin unterscheiden sich gerade die luftförmigen von den tropfbar flüssigen Körpern, daß sich jene immer über den ganzen Raum, der ihnen geboten wird, ausbreiten. Bei jedem Kolbenzuge wird sich also die eingeschlossene Luft zwar immer mehr ausdehnen und verdünnen, aber niemals vollständig verschwinden, zumal da es nicht zu vermeiden ist, daß beim Umdrehen der Hähne sehr geringe Mengen von Luft doch immer wieder eindringen. Wenn die Luft verdünnt ist, so wird sie auch einen verhältnißmäßig geringen Druck ausüben, dessen Stärke durch ein in demselben Raume befindliches verkürztes Barometer gemessen wird: mit gewöhnlichen Luftpumpen läßt sich nun die Verdünnung so weit treiben, daß die Barometerprobe noch einen Druck von 1—2 ^{mm} anzeigt, es ist aber auch gelungen, Apparate von solcher Vollkommenheit zu construiren, daß der Luftdruck bis auf $0{,}1^{mm}$ herabgebracht wird. In der Industrie, in welcher die Luftpumpe meistens nur da Anwendung findet, wo es gilt, Stoffe, die das Erwärmen nicht



Die Luftpumpe von Deleuil.

vertragen, vollständig auszutrocknen oder unterhalb eines Filters, durch welches irgend eine Masse, z. B. Zuckerlösung bei der Zuckerfabrikation, durch den Druck der Atmosphäre hindurchgepreßt werden soll, einen luftverdünnten Raum herzustellen, ist eine so bedeutende Verdünnung der Luft niemals erforderlich, und man wendet deshalb stets Pumpen an, welche freilich auf Kosten der Genauigkeit viel bequemer zu handhaben sind. Eine solche Luftpumpe, welche von Deleuil erfunden wurde und welche besonders eine sehr merkwürdige Abänderung der Construction zeigt, ist auf Tafel II in der Totalansicht dargestellt, während Fig. 41 den Stiefel mit Kolben in größerem Maßstabe zeigt. Die merkwürdige Neuerung, welche Deleuil angebracht hat, besteht darin, daß der Kolben gar nicht bis an die Wände heranreicht, sondern rings herum einen Zwischenraum von 0,02 mm frei läßt; außerdem ist der Kolben auch noch auf seiner ganzen Höhe durch ringförmige Rillen durchfurcht. An diesem Kolben haftet nämlich die Luft durch Adhäsion so dicht, daß sie sozusagen einen Wulst um ihn bildet, welcher für die Verdünnungen, die erforderlich waren, einen genügenden Abschluß bildet, und dabei ist der Kolben viel leichter beweglich, als wenn er, wie bei den gewöhnlichen Luftpumpen dicht anschließt und an seiner Oberfläche mit Oel bedeckt ist. Anfangs gab Deleuil dem Kolben eine Höhe, die doppelt so viel betrug, als der Durchmesser, und konnte dadurch Verdünnungen erzielen von 8—18 mm Druck, je nach dem Inhalte des Gefäßes; mit später erbauten Maschinen gelang es ihm, trotzdem daß er die Höhe des Kolben nur dem Durchmesser gleich machte, in einem Gefäße von 14 Liter Inhalt den Druck bis auf 2—3 mm herabzubringen, und selbst in einem Gefäße

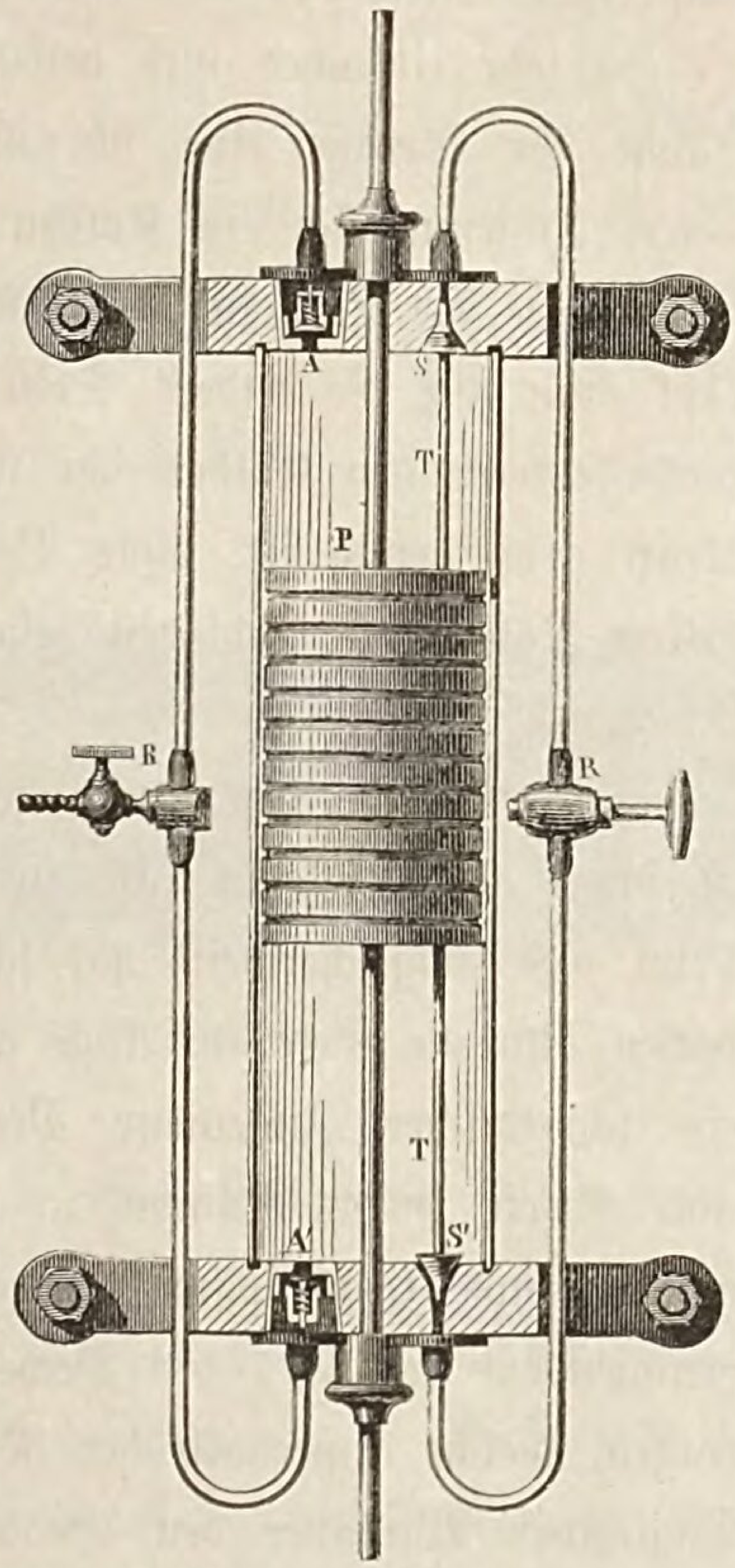


Fig. 41. Kolben der Luftpumpe von Deleuil.

von 250 Liter Inhalt brachte er den Druck binnen einer Viertelstunde auf 10 mm.

Eine Zeitlang hat man die Luftpumpe dazu verwendet, daß man durch ihre Vermittelung ohne Mitwirkung durch Locomotiven einen Wagenzug auf einer Eisenbahn weitertreiben ließ. Das Princip dieser Anwendung ist ein sehr einfaches und besteht nur darin, daß man auf der ganzen Länge der Straße eine überall gleich weite Metallröhre anbringt, in deren Innerem sich ein Kolben bewegt: verdünnt man mit Hilfe einer Luftpumpe die Luft in der Röhre auf der einen Seite des Kolben und läßt man auf die andere Seite den Druck der Atmosphäre wirken, so wird letzterer den Kolben vor sich her treiben und mit ihm, wenn die Kraft groß genug ist, ohne Beihilfe anderer Motoren einen Wagenzug, dessen Räder auf Schienen gehen, welche neben der Röhre liegen, fortbewegen.

Der Gedanke, den atmosphärischen Druck als Triebkraft zu benutzen, ist schon alt, vielleicht fast so alt, als die Erfindung der Luftpumpe selbst und möglicherweise hat schon Otto von Guericke bei seinen Versuchen ähnliche Ziele im Auge gehabt. Aber erst im Jahre 1810 machte ein schwedischer Ingenieur Medhurst den Vorschlag Waaren, Packete und Briefe durch Röhren zu befördern, in denen die Luft verdünnt wurde; und etwas später versuchte derselbe, jedoch nicht mit vollständig genügendem Erfolge, die Bewegung des Kolben auf Wagen zu übertragen, welche außerhalb der Röhre liefen. Im Jahre 1824 faßte ein Engländer Wallance den Gedanken, den Druck auf die Wagen selbst wirken zu lassen, den Röhren also eine solche Weite zu geben, daß die Wagen in ihnen selbst Platz hatten. Doch etwas später kamen die englischen Ingenieure Clegg und Samuda von diesem Vorschlage auf das ursprünglich von Medhurst vorgeschlagene System zurück, und ihnen gelang es, die Idee der atmosphärischen Eisenbahn zu verwirklichen: unter ihrer Leitung wurde in Irland zwischen Kingstown und Dalkey im Jahre 1838 eine Bahn von 3 Kilometer Länge gebaut, welche auch längere Zeit in Gang blieb. Nachdem dieser Versuch gelungen war, erbaute man auch noch einige andere Linien in England und Frankreich: jetzt aber hat man dieses System für die Beförderung von Wagen gänzlich aufgegeben, nicht etwa, weil man beim Betriebe auf irgend welche mechanische Schwierigkeiten gestoßen wäre, sondern einzig aus dem Grunde,

weil die Kosten des Transportes sich viel zu hoch stellen. Die atmosphärischen Eisenbahnen können die Concurrenz mit dem Dampfwagen nicht aushalten, besonders seitdem man nach Erfindung der Berglocomotiven nicht mehr auf zu geringe Steigungen beschränkt ist, und so wird der Druck der atmosphärischen Luft höchstens noch zur Beförderung von Briefen und kleinen Packeten verwendet.

Wie die Uebertragung der Bewegung vom Kolben auf die Wagen bei der atmosphärischen Eisenbahn von Pecq nach St. Germain eingerichtet ist, läßt sich aus Fig. 42 erkennen: wir sehen in der Röhre, deren Durchmesser beiläufig 63 cm beträgt, auf der rechten Seite den aus zwei Theilen zusammengesetzten Kolben und hinter diesem ein System

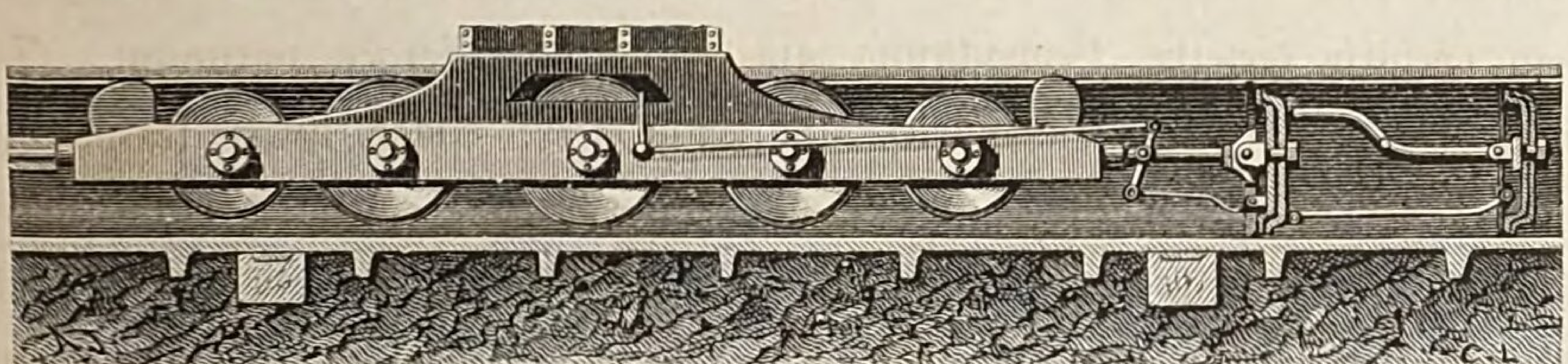


Fig. 42. Röhre der atmosphärischen Eisenbahn.

von Rädern, die an einen Rahmen befestigt sind, von welchem eine breite Platte durch eine Längsspalte der Röhre aufsteigt und den Kolben mit dem Wagen verbindet. Bis hinter dem Kolben ist jene Längsspalte durch einen Lederstreifen geschlossen, auf welchem kurze Blechtafeln befestigt sind, und welcher gleichsam die Stelle eines Ventiles vertritt. Soweit der luftleere Raum reicht, liegt dieser Lederstreif fest auf der Spalte, und erst hinter dem Kolben wird er durch die vorhin erwähnten Räder, deren Durchmesser bis zum mittelsten hin allmählich wachsen, gehoben, sodaß die Verbindungsplatte aus der Röhre austreten kann. Am Wagen befindet sich noch ein kleines Rad, welches äußerlich längs der Spalte läuft und den Lederstreifen immer sogleich wieder in sie eindrückt, damit nicht die Luft in gar zu großer Menge in die Röhre eindringen kann, sodaß beim nächsten Leerpumpen der Röhre die Luft schon etwas verdünnt ist. Das Leerpumpen wurde durch 4 Luftpumpen bewirkt, deren Kolben durch Dampfkraft in Bewegung gesetzt wurden, und die Verhältnisse der Röhren und Maschinen waren so berechnet, daß bei einer Verdünnung der Luft bis auf den dritten Theil ihrer Spannung

ein Zug von 54 Tonnen Gewicht in eine Geschwindigkeit von 1 Kilometer in der Minute versetzt wurde. Jetzt wird die sehr bedeutende Steigung zwischen Pecq und St. Germain (1:30) durch Locomotiven überwunden.

§ 4. Barometrische Höhenmessung.

Wenige Jahre, nachdem Torricelli das Barometer erfunden hatte, kam Pascal auf den Gedanken, daß man den Beweis dafür, daß das Quecksilber des Barometers durch den Luftdruck gehalten wird, sehr einfach folgendermaßen führen könnte: er bestieg den Gipfel des Berges Puy de Dome in der Auvergne, welcher sich ziemlich steil aus der Ebene erhebt, und beobachtete dort den Barometerstand, während gleichzeitig ein Gehilfe dieselbe Beobachtung am Fuße des Berges vornahm. Da sich zeigte, daß das Barometer am Fuße stets etwas höher stand, als auf dem Gipfel, so ließ sich nicht leugnen, daß diese Verschiedenheit durch das Gewicht der zwischenliegenden Luftsäule bewirkt wurde und daß mithin durch das Barometer die Kraft, mit welcher die Luft drückt, gemessen wird: zu gleicher Zeit aber hatte Pascal damit auch ein Verfahren gefunden, durch welches die Höhe, in welcher ein Punkt der Erde über dem anderen liegt, mit Hilfe von Barometerbeobachtungen gemessen werden konnte. Denn wenn man nur weiß, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Luft am Beobachtungsorte zu der Dichtigkeit des Quecksilbers steht, so läßt sich daraus berechnen, wie hoch die Luftsäule ist, welche durch den Ueberschuß des Barometerstandes am tieferliegenden Orte über den am höheren Orte beobachteten im Gleichgewicht erhalten wird. Durch sehr sorgfältige Versuche, welche darin bestanden, daß man das Gewicht eines luftleer gepumpten Ballons bestimmte und dann die Wägung wiederholte, nachdem man Luft hatte einströmen lassen, hat man gefunden, daß bei einer Temperatur von 0^0 und einem Barometerstande von 760^{cm} ein Liter Luft ein Gewicht von 1,93 Gr. besitzt, während ein Liter Quecksilber 13596 Gr. wiegt: das specifische Gewicht von Quecksilber ist daher 10500 Mal so groß, als das der Luft. Hat man also bei einem Luftdruck von 760^{mm}, wie er im Mittel an der Meeresfläche herrscht, und bei einer Temperatur von 0^0 sich so weit erhoben, bis der Barometerstand eine Abnahme von 1^{mm} zeigt, so muß die Luftschicht, in welcher man aufgestiegen ist, so stark drücken, daß sie

eine Quecksilbersäule von 1 mm Höhe im Gleichgewicht halten kann, d. h. sie muß selbst 10500 mm oder 10,5 m hoch sein. Unter den angeführten Bedingungen würde also ein Unterschied im Barometerstande von 1 mm auf eine Höhe von 10,5 m schließen lassen.

Je mehr man sich nun aber in der Luft erhebt, desto geringer wird auch der Druck und damit das specifische Gewicht der Luft, welche sich in demselben Grade ausdehnt, in welchem der Druck abnimmt; je höher man also hinauf steigt, eine desto größere Luftsäule wird auch erforderlich sein, um dem Drucke von 1 mm Quecksilber das Gleichgewicht zu halten. Nach welchem mathematischen Gesetze der Höhenunterschied aus dem Unterschied der Barometerstände abgeleitet werden kann, hat zuerst Halley und Newton erkannt, die gebräuchliche Formel aber rührt von Laplace her. Wir können auf diese Formel hier nicht weiter eingehen, da zu deren Verständniß mehr mathematische Kenntnisse erforderlich sind, als wir voraussetzen dürfen, und wollen hier nur erwähnen, daß man, wenn die Unterschiede der Barometerstände nicht zu groß sind, die Höhe mit genügender Genauigkeit findet, wenn man 8074 m mit dem beobachteten Unterschiede der beiden Barometerstände multiplicirt und das Product durch den am höher gelegenen Orte beobachteten Barometerstand dividirt.

Allein es giebt noch mancherlei Verhältnisse, welche bei den Beobachtungen Berücksichtigung finden müssen, wenn die Resultate einigermaßen zuverlässig sein sollen: so ist besonders die Temperatur von sehr bedeutendem Einflusse und muß stets mit in Rechnung gezogen werden. Durch die Wärme dehnt sich bekanntlich das Quecksilber aus und wird dadurch specifisch leichter, sodaß derselbe Luftdruck eine höhere Säule von erwärmtem, als von kaltem Quecksilber im Gleichgewicht halten kann: daher muß man im Barometer auch stets ein Thermometer anbringen, nach dessen Angabe die beobachtete Barometerhöhe zu corrigiren ist, um die Höhe zu finden, bis zu welcher Quecksilber von 0° in der Röhre durch den Luftdruck hinaufgetrieben wird. Weit stärker aber noch als das Quecksilber wird die Luft selbst durch Wärme ausgedehnt und so muß auch das specifische Gewicht der Luft nach den Temperaturen, die an den beiden Beobachtungsorten herrschen, eine Correctur erfahren, durch welche es auf den Werth bei 0° zurückgeführt wird. Der größte Uebelstand hierbei, der zu den bedeutendsten Fehlern Veranlassung giebt, liegt darin, daß man niemals genau wissen kann, wie sich die Luft-

temperatur in dem Raume zwischen beiden Beobachtungsorten an den einzelnen Stellen ändert: denn im Allgemeinen kann man zwar annehmen, daß die Temperatur vom Erdboden an gerechnet zunächst etwas steigt, weil kalte Luft schwerer ist und zu Boden sinkt, in größeren Höhen aber dann wegen der großen Verdünnung wieder sinkt; allein wo der Wendepunkt liegt, wird man nie genau bestimmen können, und es werden auch immer so vielerlei Ursachen zu manchen Störungen vorhanden sein, daß die Zuverlässigkeit der Bestimmungen sehr verringert wird. Weiter ist zu beachten, daß stets in der Luft ein Quantum Wasserdampf enthalten ist, welcher ebenfalls auf das Barometer drückt: man hat also durch das sogenannte Psychrometer zu ermitteln, wie die Feuchtigkeitsverhältnisse während der Beobachtung sind, und den gefundenen Dampfdruck vom beobachteten Barometerstande in Abzug zu bringen. Endlich kann man nie ganz sicher sein, daß sich der Barometerstand nicht in der Zeit, welche die Beobachtungen in Anspruch nehmen, geändert hat, oder daß nicht an den beiden Beobachtungsorten eine Verschiedenheit der Windrichtungen stattfindet, durch welche die Verhältnisse des Luftdruckes wesentlich abgeändert werden.

Aus diesem allen geht hervor, daß die Höhenmessungen mittels des Barometers nicht allein einen ziemlichen Aufwand an Mühe und Zeit erfordern, sondern daß sie auch so vielen störenden Einflüssen unterworfen sind, daß die Resultate nur dann Anspruch auf einige Zuverlässigkeit machen dürfen, wenn die correspondirenden Beobachtungen an zwei Punkten öfters wiederholt werden, wodurch die zufälligen Fehler allmählich verschwinden. Gleichwohl ist nicht zu übersehen, daß der Apparat, der diese Beobachtungen erfordert, ein weit einfacherer ist, als der für trigonometrische Bestimmungen nothwendige: und wenn die barometrischen Höhenmessungen also auch an Genauigkeit mit letzteren nicht rivalisiren können, so werden sie doch wegen ihrer Bequemlichkeit immer vielfach zur Anwendung kommen. Für sehr bedeutende Höhen scheinen die Formeln Resultate zu geben, die hinter den aus astronomischen Beobachtungen berechneten zurückbleiben: so geben jene als Höhe der Schicht, in welcher der Luftdruck nur noch 0,1 ^{mm} beträgt, 57 ^{Km}, während die astronomische Strahlenbrechung auf eine viel größere Höhe der Schichten von der genannten Dichtigkeit schließen läßt.

Viertes Kapitel.

Der Druck der comprimirten Luft.

§ 1. Die Windbüchse.

Wir haben im vorigen Kapitel mancherlei Vorrichtungen kennen gelernt, durch welche Wasser ausgepumpt oder die Luft in einem Raume verdünnt werden kann: giebt man nun den Apparaten eine gerade umgekehrte Construction, d. h. läßt man die Ventile nach der entgegengesetzten Seite schlagen oder führt man die Drehung in der entgegengesetzten Richtung aus, so wird man mit ihnen auch die entgegengesetzte Wirkung erzielen. So wie man also Luftpumpen construirt hat, durch welche die Luft in einem Gefäße verdünnt wird, so kann man andererseits die Einrichtung der Ventile so treffen, daß bei jedem Kolbenzuge eine neue Menge Luft in ein Gefäß hineingepreßt wird, sodaß die Dichtigkeit der Luft in demselben immer mehr zunimmt: nur muß man bei der Construction dieser Pumpen, die man Compressionspumpen nennt, immer daran denken, daß die verdichtete Luft auf die Wände des Gefäßes von Innen her einen sehr großen Druck ausübt, und dem entsprechend die Festigkeit der Gefäße bedeutend erhöhen. Bei der Verdünnungs-Luftpumpe kann der Druck auf die Wände den Werth einer Atmosphäre nie übersteigen: hat man dagegen mit der Compressionspumpe die Luft z. B. auf die fünffache Dichtigkeit gebracht, so drückt sie von Innen gleich fünf Atmosphären, während von Außen der Druck einer Atmosphäre gegenwirkt, sodaß immer noch ein Ueberschuß von vier Atmosphären verbleibt, und diesen Druck müssen die Wände aushalten. Verschiedene andere Vorrichtungen, welche man außer der einfachen Compressionspumpe benutzt, um die Luft zu verdichten, werden wir in diesem Kapitel weiterhin kennen lernen, und wenden uns jetzt zu einigen wichtigen Anwendungen der comprimirten Luft.

Einer der ältesten Apparate, bei welchem die verdichtete Luft als Triebkraft gebraucht wird, ist wohl die Windbüchse (Fig. 43), deren Erfindung um das Jahr 1560 gemacht worden sein soll, wenn nicht gar ein ähnlicher Apparat bereits den Alten bekannt gewesen ist: wenigstens soll nach Philo von Alexandrien Ktesibius eine Röhre benutzt haben,

aus welcher er mittels eines Luftstromes Pfeile schleuderte. Jetzt kann die Windbüchse nur noch als ein Curiosum gelten, das nicht mehr ernstliche Verwendung findet, es müßte denn sein, daß sie dem Verbrechen oder der Feigheit als Waffe diente: dagegen früher, z. B. im dreißigjährigen Kriege, wurde sie im Kampfe verwendet, und vor nicht gar zu langer Zeit war noch ein Zug Tiroler Schützen mit dieser Schußwaffe versehen.

Der Mechanismus dieses Instrumentes ist einfach folgender: der

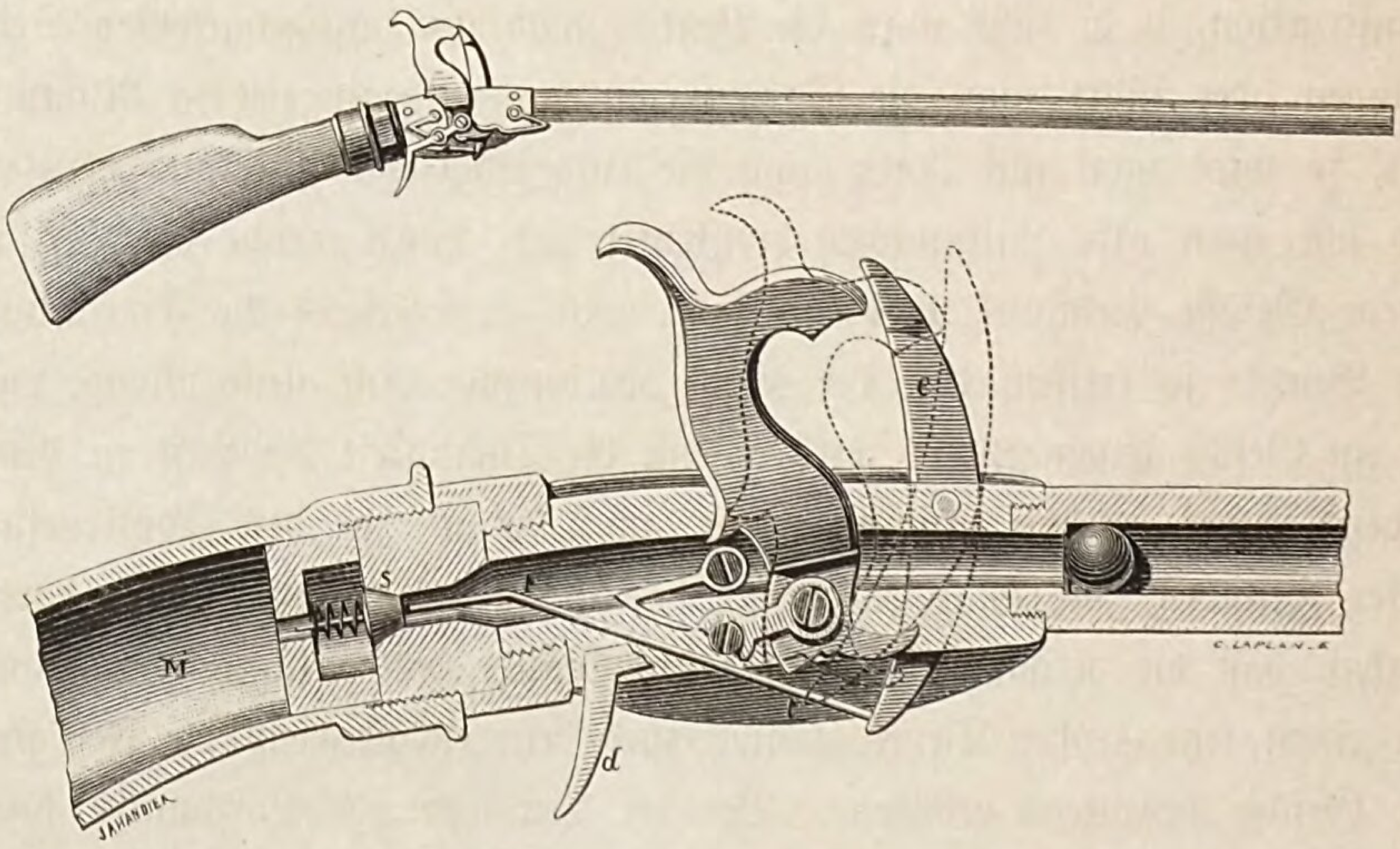


Fig. 43. Die Windbüchse.

Kolben M, welcher hohl und aus Metall verfertigt ist und bei S durch ein Ventil geschlossen wird, das sich nur nach Innen öffnet, läßt sich vom Flintenlaufe ab- und auf eine einfache Compressionspumpe aufschrauben. Nachdem man mit Hilfe der letzteren die Luft im Kolben stark verdichtet hat, befestigt man ihn wieder am Laufe, welcher mit einem Pfropfen und einer Kugel geladen wird: zieht man nun den Drücker d mit dem Finger zurück, so wird durch zwei federnde Hebel das Schloß ausgelöst und der Hahn schlägt gegen den Hebel e, welcher nun seinerseits das Stäbchen tt′ zurückschiebt und dadurch das Ventil S für einen Augenblick öffnet. Hierbei dringt nun ein kleiner Theil der comprimirten Luft durch das Ventil aus dem Kolben und treibt die Kugel aus dem Rohre mit einer Geschwindigkeit, die dem Grade der Verdichtung proportional ist. Gewöhnlich wendet man einen Druck von

8 bis 10 Atmosphären an, und da bei jedem Schusse immer nur eine sehr kleine Menge Luft aus dem Kolben entweicht, indem das Stäbchen tt' sofort wieder zurückfedert und das Ventil S theils durch eine Spiralfeder, besonders aber durch den Luftdruck selbst sich augenblicklich schließt, so kann man nach und nach eine Reihe von Schüssen abgeben, wenn man nur immer von Neuem Kugeln in den Lauf bringt; und erst, wenn der Verlust an Luft zu bedeutend geworden ist, muß man von Neuem laden, d. h. die Luft im Kolben durch die Pumpe wieder comprimiren. Daß man den Luftbehälter auch seitwärts anbringen kann, statt ihn in den Kolben zu verlegen, daß man ferner bisweilen die Druckpumpe an der Flinte selbst befestigt, daß man die Kugeln durch ein Ansatzrohr einführt, sind unwesentliche Aenderungen, die wir hier übergehen.

Das Geräusch, welches bei der Entladung der Windbüchse gehört wird, ist sehr schwach und deshalb ist dieses Instrument immer eine ziemlich bedenkliche Waffe in den Händen der Wilddiebe und anderer Verbrecher. Erfolgt die Entladung im Finstern, so sieht man an der Mündung des Rohres einen schwachen Feuerschein, der wahrscheinlich daher rührt, daß die Kugel feine Metalltheile vom Rohre losreißt, welche sich durch die starke Reibung erhitzen und in der verdichteten Luft ins Glühen gerathen: möglicherweise ist aber auch, wie Daguin behauptet, Elektricität mit im Spiele, die durch die Reibung des Pfropfen gegen den Lauf oder auch durch die plötzliche Ausdehnung der Luft zur Entwickelung kommt.

§ 2. Heronsbrunnen und Feuerspritze.

Führt man in ein geschlossenes Gefäß, das zum Theil mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, von Oben herein eine Röhre, welche bis in die Flüssigkeit hineinreicht, und verdichtet man durch irgend welches Mittel die Luft oberhalb der Flüssigkeit, so wird durch den Druck der comprimirten Luft die Flüssigkeit durch die Röhre so kräftig ausgetrieben, daß sie in Form eines Strahles herausspritzt, dessen Länge vom Grade der Compression abhängig ist. Man kann diesen Versuch sehr leicht mit einer Glasflasche anstellen, deren Hals durch einen Kork verschlossen ist, durch welchen ein Glasrohr bis nahe an den Boden und bis unter den Spiegel des Wassers, das sich in der Flasche befindet, herabreicht,

wenn man durch dieses Rohr mit dem Munde Luft in die Flasche einbläst. Dieser kleine Apparat, welcher Heronsball genannt wird, findet in dieser einfachen Form in der Praxis keine Verwendung und wir haben ihn hier nur erwähnt, weil auf dem Principe, das bei ihm zur Geltung kommt, zwei andere Apparate beruhen, die mehrfache Anwendung erfahren, nämlich der Heronsbrunnen und die Feuerspritze.

Bei dem Heronsbrunnen (Fig. 44) sehen wir ein Gefäß A, von dessen Boden eine Röhre führt, welche sich bald nach Oben krümmt und in eine feine Oeffnung ausläuft, während eine andere Röhre oben in das Gefäß einmündet und dasselbe mit einem zweiten, tiefer liegenden Gefäße C in Verbindung setzt. Das letztere endlich communicirt mit einem aufsteigenden Rohre, welches sich oben erweitert. Befindet sich nun in A Wasser und füllt man weiter das aufsteigende Rohr ebenfalls mit Wasser, welches in das Gefäß C eindringt, so wird dadurch in dem Verbindungsrohre zwischen A und C Luft abgesperrt, welche unter dem Drucke der Wassersäule ab steht und durch denselben zusammengepreßt wird. Diese comprimirte Luft drückt nun auf den Wasserspiegel in A und bewirkt ein Aufsteigen im Rohre und ein Ausspritzen aus der oberen Oeffnung, ähnlich wie beim Springbrunnen: und zwar würde die Höhe a′b′, bis zu welcher sich das Wasser über den Spiegel in A erhebt, gleich der Druckhöhe ab sein, wenn nicht die Reibung und der Widerstand der Luft einen Theil der Kraft

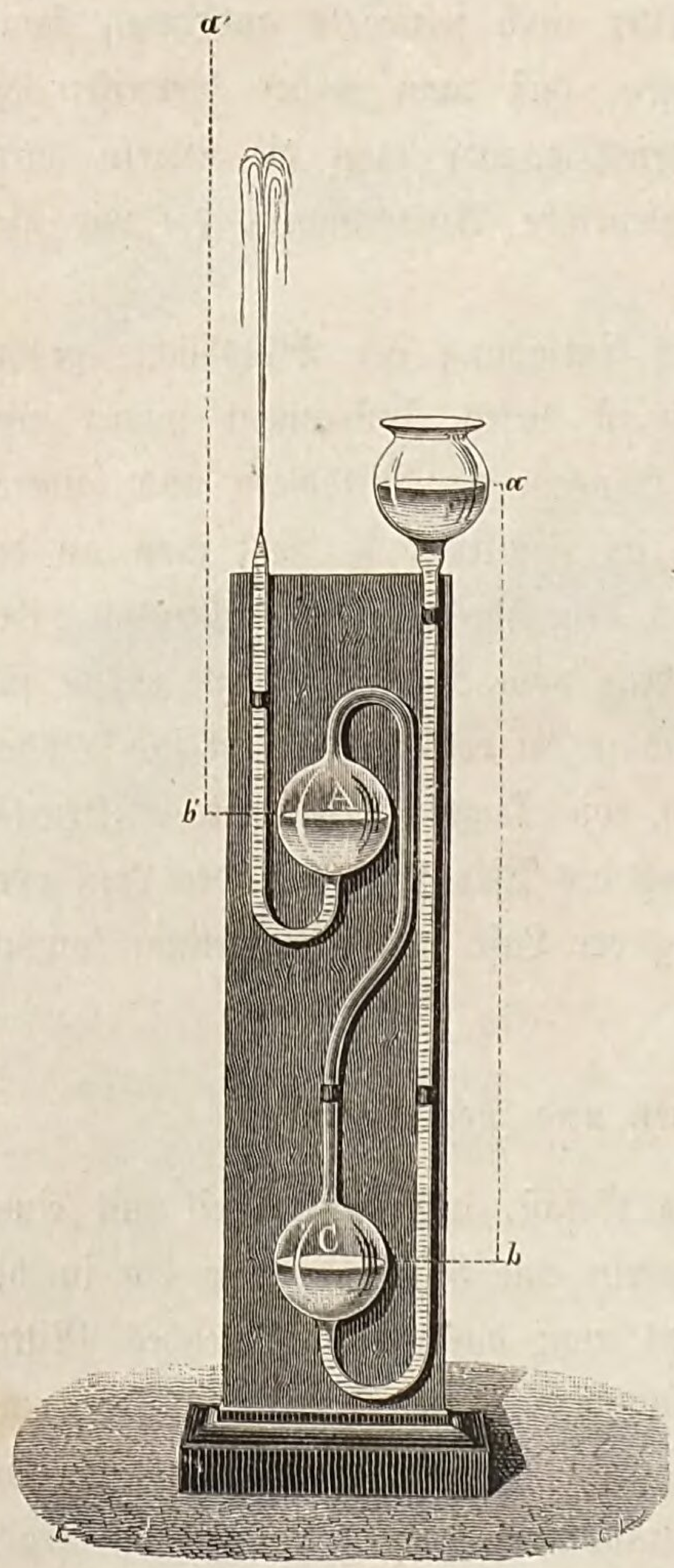


Fig. 44. Heronsbrunnen.

absorbirte, sodaß der Strahl nur bis zu einer etwas geringeren Höhe aufsteigt.

Man wendet den Heronsbrunnen als einen Ersatz für den Springbrunnen überall da an, wo man für letzteren nicht die nöthige Fallhöhe zur Verfügung hat, da man die Theile des Heronsbrunnen alle in die Erde einsenken und also ein höher gelegenes Behälter zur Speisung entbehren kann. Ebenso finden wir sehr häufig diese Vorrichtung an Blumentischen und Zimmer-Aquarien angebracht, bei welchen dann die Theile des Apparates im Fuße verborgen sind; im großen Maßstabe aber findet man ähnliche Apparate in den Bergwerken von Schemnitz in Ungarn zur Förderung der Grubenwasser aufgestellt.

Wenn wir beim Heronsbrunnen das obere Gefäß A als einen Heronsball ansehen durften, so ist dies noch mehr der Fall bei dem Hauptheil der Feuerspritze, beim Windkessel. Die gewöhnliche Feuerspritze (Fig. 45) enthält zunächst zwei Druckpumpen, deren

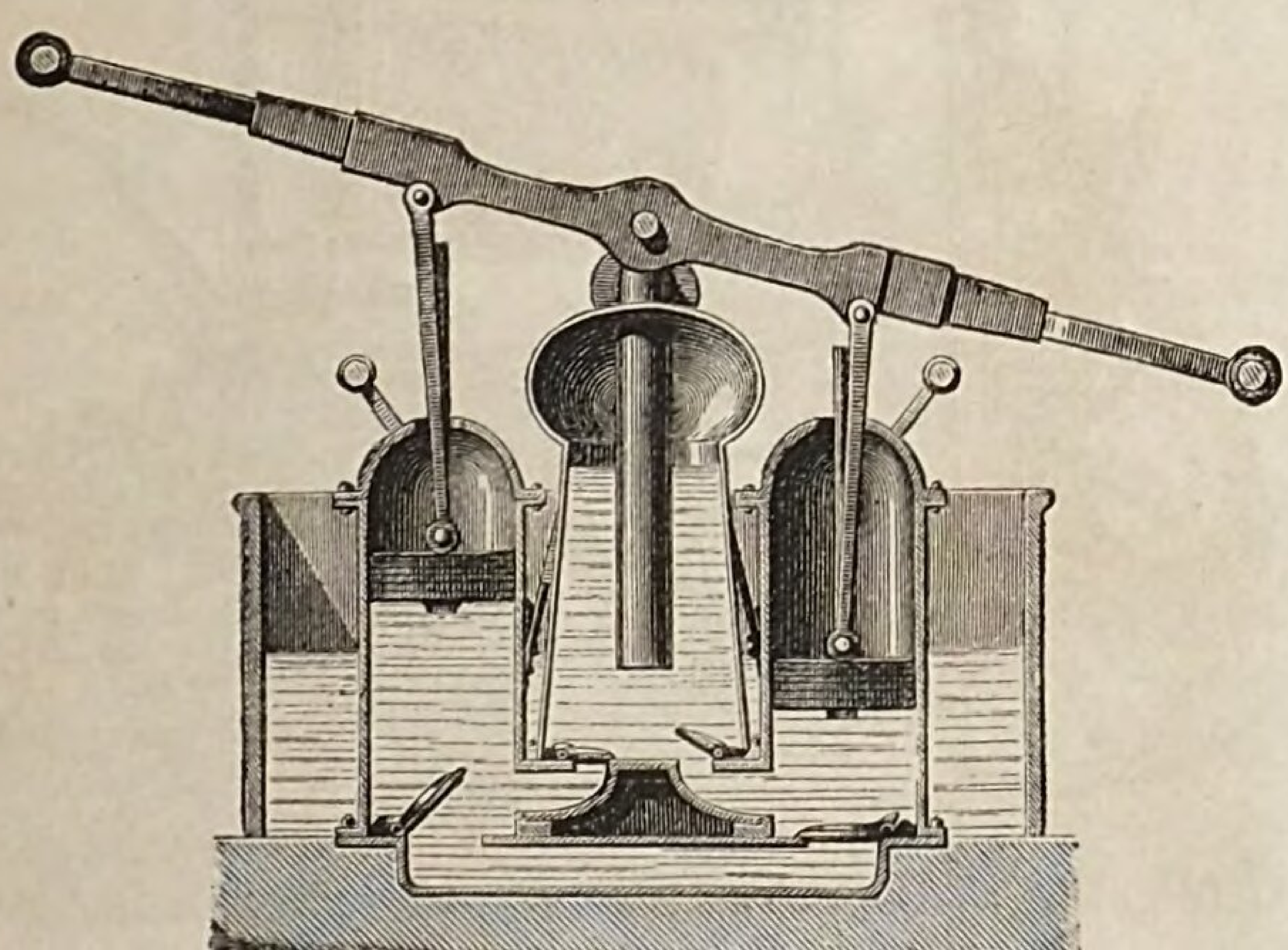


Fig. 45. Feuerspritze mit Windkessel.

Kolben durch ihre Kolbenstangen an einem Hebel, dem sogenannten Balancier, befestigt sind, sodaß beim Senken des einen Kolben der andere sich hebt. Diese Pumpen saugen das Wasser, das sich in einem weiten Gefäße befindet, in welchem sie selbst stehen, auf und treiben es durch Ventile in den Windkessel, welcher sich zwischen ihnen befindet und welcher in seiner Einrichtung genau mit dem Heronsballe übereinstimmt: denn auch in ihm steigt ein Rohr bis nahe an den Boden

herab; an dieses Rohr aber wird äußerlich der Spritzenschlauch befestigt. Sobald das Wasser im Windkessel steigt, wird die Luft in ihm zusammengepreßt, und diese comprimirte Luft treibt nun wieder ihrerseits das Wasser durch das Rohr und den Spritzenschlauch in starkem Strahle heraus mit einer Geschwindigkeit, die vom Grade der Compression abhängt, und während des Pumpens ziemlich gleichmäßig bleibt, da das ausgetriebene Wasser immer durch neues aus den Pumpen ersetzt wird und sich deshalb die Compression der Luft nur sehr wenig ändert. Das Füllen des äußeren Gefäßes geschieht entweder durch Eimer, oder durch besondere Pumpwerke, die sogenannten Zubringer, oder dadurch, daß man das Wasser der allgemeinen Wasserleitungen unmittelbar in die Spritze einleitet.

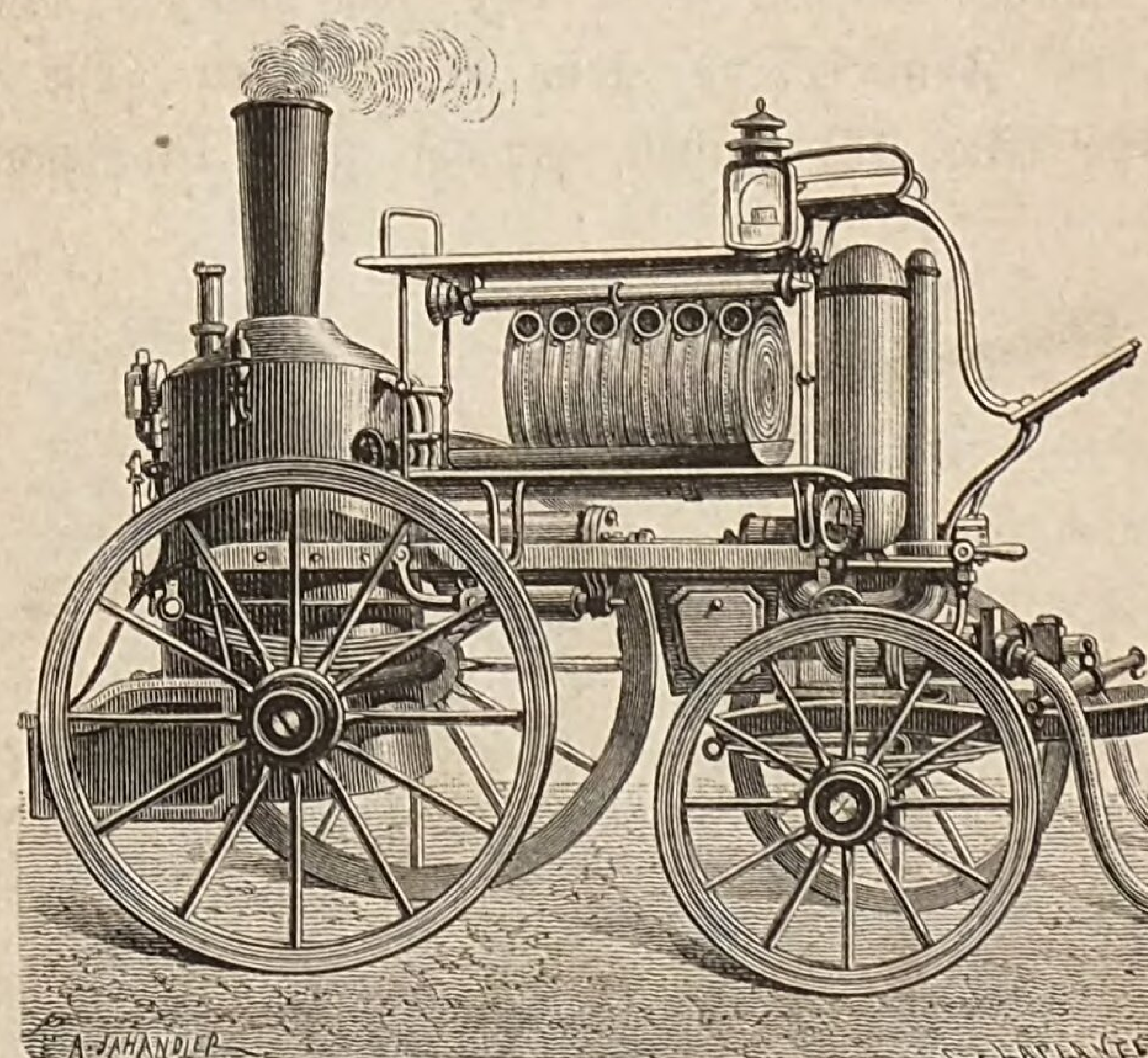


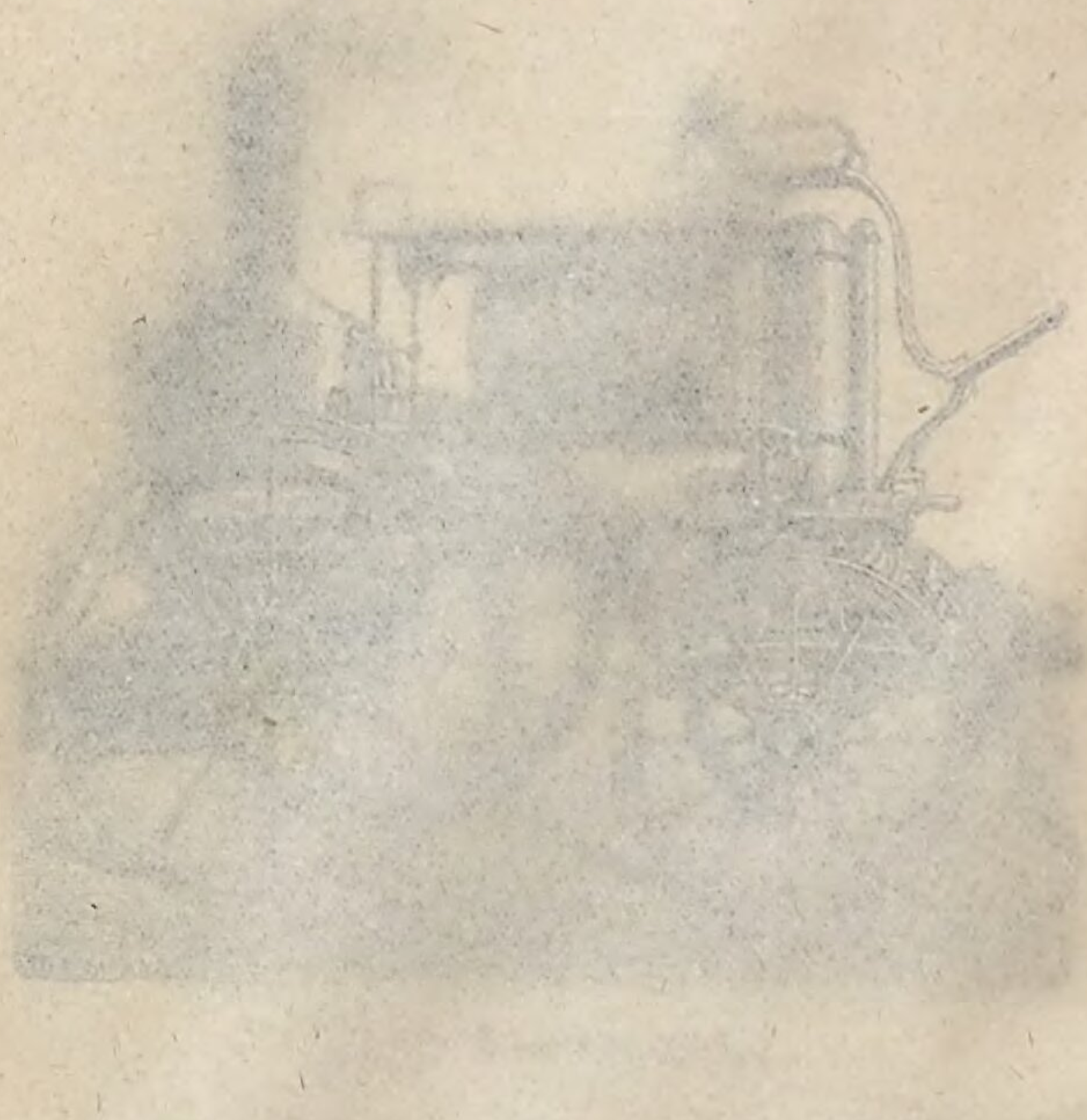
Fig. 46. Dampffeuerspritze.

Jetzt benutzt man wenigstens in größeren Städten häufig Feuerspritzen, deren Pumpen durch Dampfkraft getrieben werden: wir sehen in Fig. 46 eine solche Dampffeuerspritze dargestellt, bei welcher sich auf der linken Seite der Abbildung der Dampfkessel und vor diesem der Dampfcylinder befindet, während die Pumpe und der Windkessel unter dem Kutschersitze zu bemerken sind, hinter dem der aufgerollte Schlauch liegt. Tafel III stellt eine solche kleinere Dampffeuerspritze nach Field's System in ihrer Thätigkeit dar: dieselbe kann binnen



DIE DAMPFFEUERSPRITZE IN THÄTIGKEIT

[illegible] sich äußerlich [illegible] Spritzenschlauch befestigt. [illegible] Windkessel [illegible] wird die Luft [illegible] ihm zu[illegible] comprimirte [illegible] treibt nun wieder ihrerseits [illegible] Spritzenschlauch in starkem Strahle [illegible] vom Grade der Compression ab[illegible] ziemlich gleichmäßig bleibt, da der [illegible] aus den Pumpen ersetzt wi[illegible] der Luft nur sehr wenig ändert. [illegible] entweder durch [illegible], oder [illegible] genannten Zubringer [illegible] Wasserleitungen unmittelbar [illegible]



[illegible] benutzt [illegible] deren [illegible] Fig. 46 [illegible], bei welch[illegible] und vor [illegible] und der [illegible] dem der [illegible] Tafel III [illegible] kleinere Dampf[illegible]

III.



Verlag von Paul Frohberg, Leipzig.

Lith. Anst. H. Arnold, Leipzig.

DIE DAMPFFEUERSPRITZE IN THÄTIGKEIT.

acht Minuten in volle Thätigkeit versetzt werden und liefert dann in der Minute 900 Liter Wasser, welches in einem Strahle von 45 m Höhe aufsteigt. Welche Wichtigkeit alle diese Apparate für die Sicherheit unserer Wohnungen besitzen, wenn sie sich in den Händen einer gut geschulten Feuerwehr befinden, das kann man in den größeren Städten so zu sagen täglich erleben.

§ 3. Bohrung der Tunnel und Gründung der Brückenpfeiler durch comprimirte Luft.

Zu den großartigsten Werken, welche unserem Jahrhunderte dadurch gelungen sind, daß es verstanden hat die Ergebnisse der Wissenschaft für die Bedürfnisse des Lebens zu verwerthen, gehört unstreitig die Durchbohrung gewaltiger Felsmassen, der Bau meilenlanger Tunnel durch hartes Gestein, über welche sich die Berge noch Tausende von Fußen erheben. Das erste dieser Riesenwerke ist der Tunnel der Victor-Emmanuel-Eisenbahn, der etwas südlich vom Mont-Cenis Frankreich mit Italien verbindet und durch welchen die Eisenbahn zwischen den beiden Stationen Bardonnèche in Italien und Modane in Frankreich hindurchgeht; derselbe hat eine Länge von 12000 m und geht in solcher Tiefe unter der Oberfläche der Bergkette, daß es nicht möglich war, von ihm aus Luftschächte nach Oben zu führen, durch welche den Arbeitern frische Luft zugeführt werden kann, wie dies wohl bei anderen längeren Tunnelbauten, die nicht so tief liegen, geschieht. Die Erfahrungen, die man bei jener Arbeit gesammelt hat, wird man sich immer mehr bei ähnlichen Werken zu Nutze machen, und das Gelingen jenes kühnen Unternehmen erhöht den Muth zu ähnlichen Wagnissen: schon jetzt ist man seit Jahren bei einer Arbeit beschäftigt, die noch größere Anstrengungen erfordert, nämlich bei der Durchbohrung des St. Gotthards zur Verbindung der Schweiz mit Italien, welche rüstig weiter schreitet und hoffentlich auch noch zum glücklichen Ende geführt wird, trotz aller Befürchtungen, die jetzt bisweilen auftauchen, daß unvorhergesehene Hindernisse dem Werke Einhalt thun könnten. Auch an die Durchbohrung der Erde unterhalb des Meeresgrundes zwischen Frankreich und England hat man bereits gedacht, und wohl ist es möglich, daß die Zeit kommt, in welcher der Verkehr zwischen den genannten Ländern auf diesem trockenen Wege erfolgt.

Die Durchbohrung des Mont-Cenis wurde gleichzeitig von beiden Enden des Tunnels her begonnen, sodaß also zwei Schachte von solcher Länge in den Berg hinein getrieben werden mußten, daß von einer Verwendung des Pulvers oder der Dampfmaschine von vorn herein abzusehen war: denn da Ventilation weder von der Seite noch von Oben her angebracht werden konnte, so würde bei einigem Fortschreiten der Arbeit durch das Verbrennen des Pulvers oder der Kohlen bei Anwendung der Dampfmaschine, sowie durch die Entwickelung des Wasserdampfes im letzteren Falle die Luft so stark verdorben werden, daß den Arbeitern der Aufenthalt darin unmöglich ist; bei noch weiterem Fortschreiten aber würde schon durch das Athmen der Menschen und das Brennen der Lampen die gute Luft schnell verbraucht werden, wenn man nicht Mittel zur Anwendung zu bringen verstanden hätte, durch welche die Luft beständig erneuert wird. Daher griff man einen Gedanken wieder auf, der schon von Colladon und später von Caligny ausgesprochen worden war, daß man nämlich als Triebkraft für die Maschinen, durch welche die Bohrung ausgeführt werden konnte, die comprimirte Luft nehmen sollte; und durch die Ausführung dieses Gedankens haben sich die Techniker Sommeillier, Grandis und Grattone den höchsten Ruhm erworben.

Die Compressionspumpen, welche man im Anfange anwendete, beruhten auf dem Principe des von Montgolfier erfundenen hydraulischen Widders, d. h. sie wurden durch den Stoß des herabfallenden und in seinem Laufe gehemmten Wassers in Thätigkeit gesetzt, und es wurden zu diesem Behufe einige starke Gebirgsbäche, nämlich der Bach von Melezet bei Bardonnèche und die Quelle des Flüßchen Arc bei Modane, herzugeleitet, sodaß man die wirkende Kraft sogar unentgeltlich hatte. Das Spiel einer Compressionspumpe, die auf dem Principe des hydraulischen Widders beruht, ist aus Fig. 47 zu ersehen, in welcher der Apparat schematisch dargestellt ist. Das Wasser der Bäche, durch deren Gefälle man die Kraft gewinnen will, strömt in dem Rohre A herab, das durch die Klappe a durch ein Räderwerk abwechselnd abgeschlossen und geöffnet werden kann. In demselben Tacte wie die Klappe a wird durch dasselbe Räderwerk auch die Klappe b bewegt, welche das aufsteigende Rohr B abschließt, nur ist die Einrichtung so getroffen, daß beim Oeffnen der Klappe b die Klappe a sich schließt und umgekehrt. Ist nun b geschlossen und a geöffnet, so dringt das Wasser von A aus, da es nicht durch B

entweichen kann, in das Rohr C und comprimirt die Luft im oberen Theile desselben, und hierdurch wird die Klappe c, die nach Außen führt, geschlossen, die Klappe d dagegen aufgedrückt, sodaß sich nun die verdichtete Luft im Behälter R ansammelt. Schließt sich nun a und öffnet

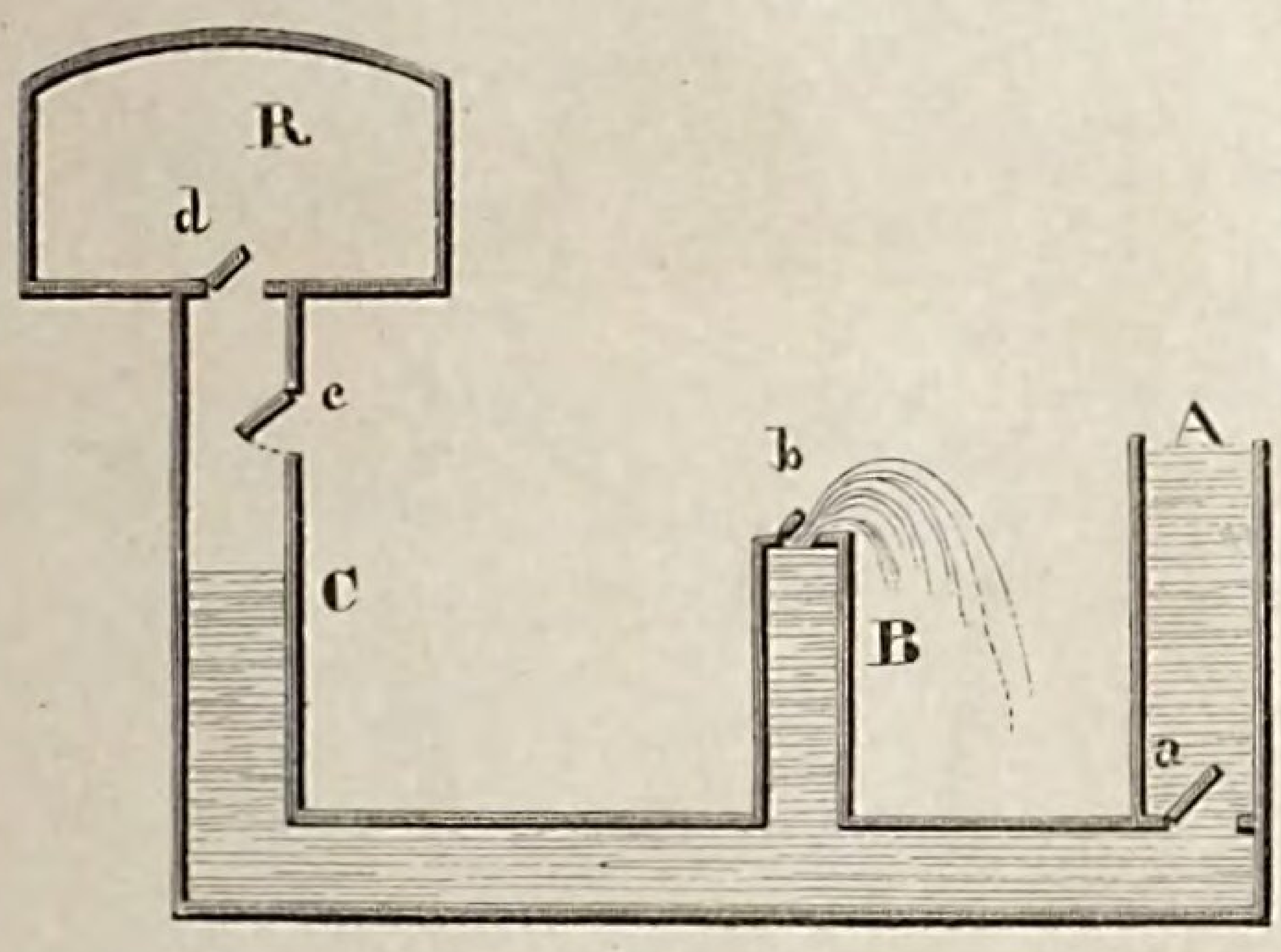


Fig. 47. Compressionspumpe nach dem Princip des hydraulischen Widders.

sich b, so drückt die in C verdichtete Luft das Wasser durch die Röhre B zurück, dafür aber strömt durch die Klappe c neue Luft in C ein, welche beim nächsten Stoße in den Behälter R gepreßt wird, sodaß die Dichtigkeit in ihm bis zu einem gewissen Grade wächst, da ein Rückströmen durch d nicht stattfinden kann. Bei den hydraulischen Widdern im eigentlichen Sinne des Wortes, wie sie von Montgolfier erfunden wurden, wird auch das Spiel der Ventile, welche a und b vertreten, durch den Stoß des strömenden Wassers geregelt.

Später hat man die mit dem hydraulischen Widder verbundenen Druckpumpen durch eine Compressionspumpe mit doppelter Wirkung ersetzt, wie sie vom Techniker Fryer in New-York construirt wurde (Fig. 48), weil sich durch dieselbe die Wasserkräfte, die man zur Verfügung hat, in viel vollkommenerem Maße ausnutzen lassen. Bei Modane wurden zwölf solcher Pumpen durch sechs Wasserräder, welche direct durch den Fall des Arc getrieben wurden, in Gang gesetzt: in jeder bewegte sich ein Kolben in einem horizontalen Cylinder und trieb die Wassermassen, die sich auf seinen beiden Seiten befanden, bald in das eine, und bald in das andere von zwei aufrechtstehenden Rohren, in welche er sich an seinen Enden öffnet. In dem Rohre, in welchem bei der Bewegung des Kolben das Wasser aufstieg, wurde die Luft über dem Wasser verdichtet und durch ein kegelförmiges Ventil am oberen Ende in den

Behälter gepreßt, in welchem die Compression stattfinden soll: gleichzeitig fällt das Wasser im anderen Rohre, und da das obere Ventil die Luft aus dem Behälter nicht zurücktreten läßt, so wird zunächst eine Verdünnung der Luft eintreten, sodaß nun der äußere Druck der Atmosphäre durch

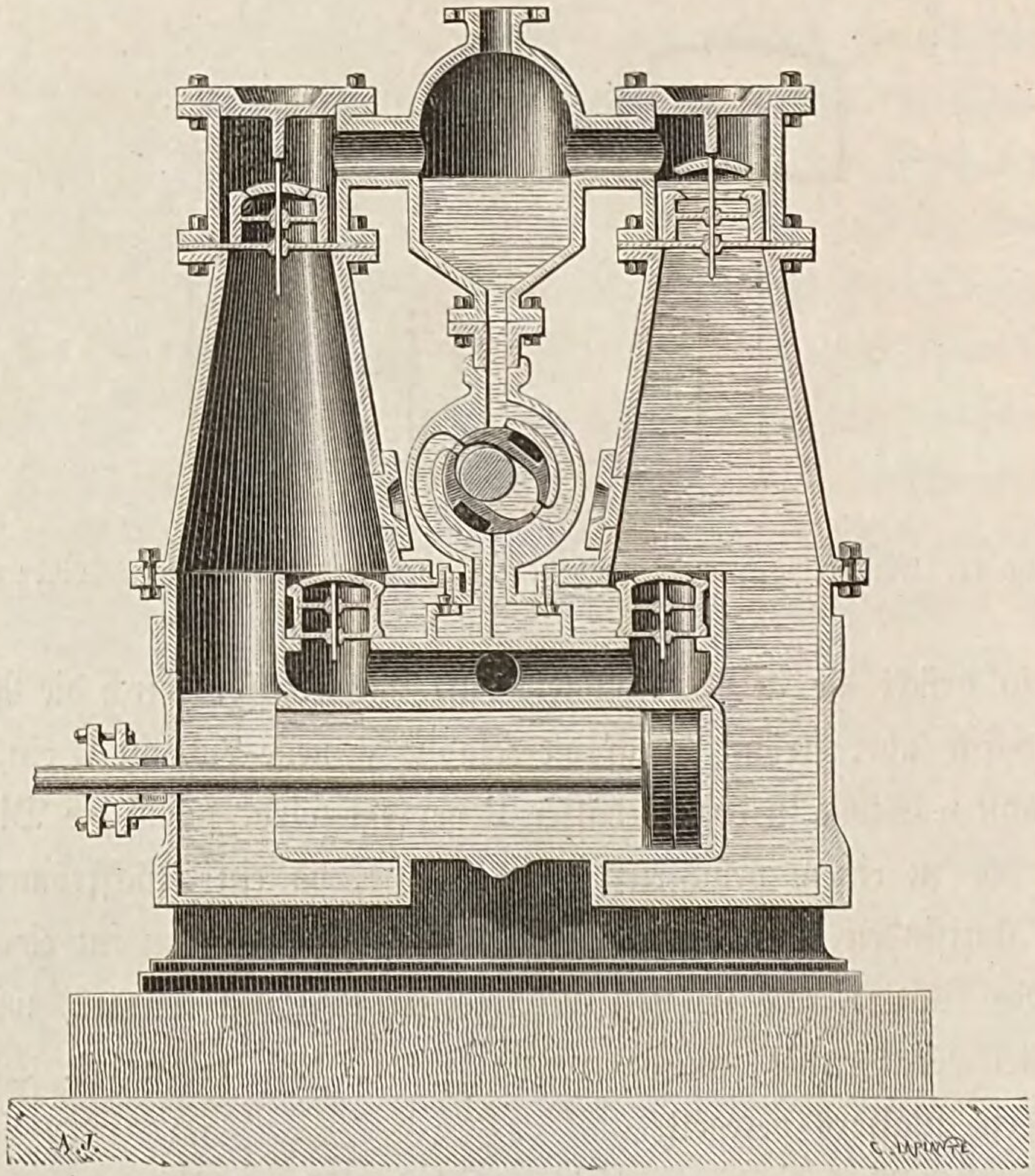
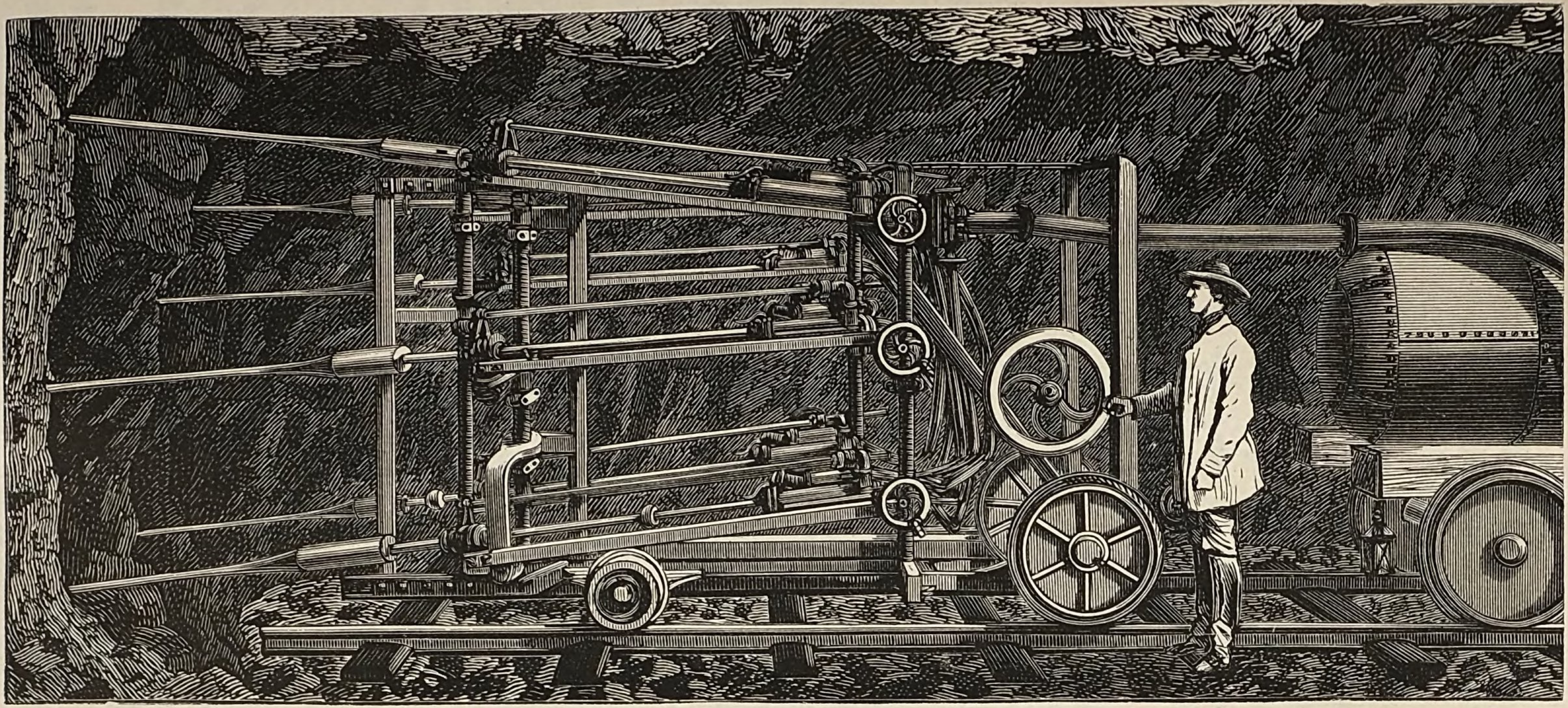


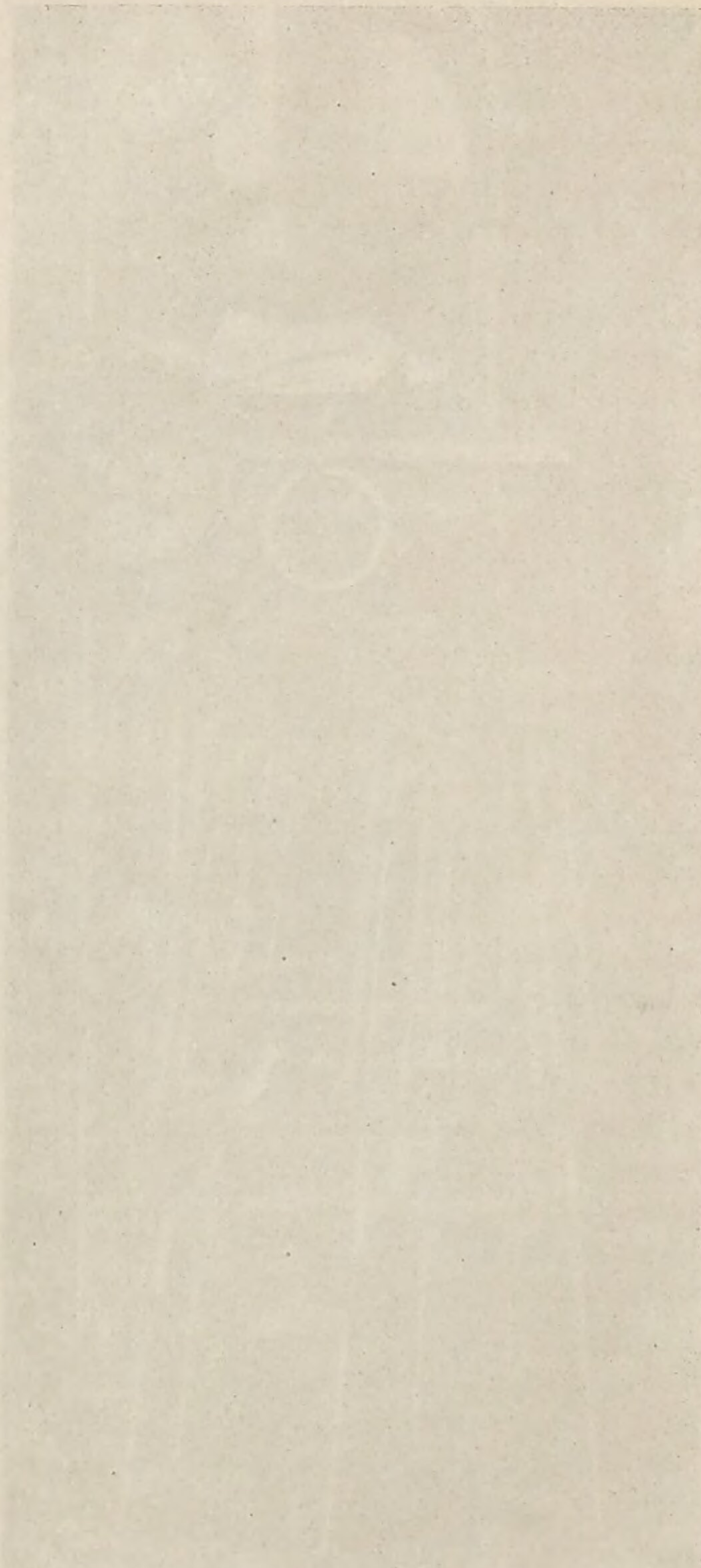
Fig. 48. Compressionspumpe mit doppelter Wirkung, System Fryer.

ein am unteren Ende angebrachtes Kegelventil, das sich nach Innen öffnet, neue Luft in die Röhre hineintreibt. In regelmäßigem Wechsel wird also die eine Röhre ihre Luft an den Verdichtungsbehälter abgeben, während sich gleichzeitig die andere Röhre von Neuem mit Luft füllt.

Nach Abzug der unvermeidlichen Verluste, die durch das Durchsickern des Wassers an einzelnen Stellen herbeigeführt wurden, gaben die zwölf Pumpen doch noch eine solche Kraft, daß durch sie im Mittel in 24 Stunden 116000 Kubikmeter Luft von gewöhnlicher Dichtigkeit auf den siebenten Theil ihres Rauminhaltes zusammengepreßt wurden, sodaß sie in den Bohrmaschinen auf die Kolben einen Druck von 7 Atmosphären ausübten. Eine so bedeutende Luftmenge würde nicht erforderlich gewesen sein, wenn



Bohrmaschine.



es sich einzig darum gehandelt hätte, die Bohrmaschine im Gange zu erhalten: allein das Rohr, welches die comprimirte Luft aus den Compressionspumpen in das Innere des Berges führte, sollte nicht blos die mechanische Kraft, durch welche die gewaltige Arbeit vollendet wurde, von den Wasserläufen auf die Felsbohrer übertragen, sondern sie sollte zugleich auch in die Galerien die frische Luft einleiten, welche für das Wohlbefinden der Arbeiter, ja sogar für das Brennen der Lampen erforderlich ist.

Die Bohrmaschinen selbst (Tafel IV), zehn an der Zahl, waren auf einem Gerüste aufgestellt, welches auf Schienen vor- und rückwärts geschoben werden konnte: hinter diesem Gerüste aber befand sich auf denselben Schienen noch ein zweiter Wagen, eine Art von Tender, welcher die Behälter mit dem erforderlichen Wasser und mit der comprimirten Luft trug. Aus diesen Behältern wurde die Luft mittels eines Schieberventils in einen Cylinder geleitet, wo sie auf einen Kolben drückte und diesen in eine hin- und hergehende Bewegung versetzte, die sich durch die Kolbenstange auf die Steinbohrer übertrug und das wiederholte Stoßen dieser Werkzeuge gegen den Felsen veranlaßte. Allein außer dieser geradlinigen Stoßbewegung mußten dem Bohrer noch zwei andere Bewegungen ertheilt werden: einmal mußte er sich nämlich nach jedem Stoße etwas um seine Axe drehen, damit der Stein im Bohrloche nach allen Richtungen hin leichter zermalmt wird, und dann mußte er weiter vorgeschoben werden, je mehr sich das Bohrloch vertieft; und auch diese beiden Bewegungen wurden durch Maschinen ausgeführt, die ebenfalls durch comprimirte Luft in Gang gesetzt wurden und zugleich auch das Schieberventil am Betriebscylinder regulirten. Jeder Bohrer konnte in der Minute bis zu 200 Stößen ausführen und verbrauchte bei jedem Stoße etwas weniger als ein Liter comprimirte Luft; wie schnell dabei die Arbeit förderte, das hing von der Beschaffenheit, besonders von der Härte des Gesteines ab.

Für weicheres Gestein, z. B. für Kalk, wie man es wohl bei der Bohrung des Tunnels zwischen England und Frankreich allein antreffen wird, hat Brunton eine Bohrmaschine construirt, welche viel schneller arbeitet und weniger Leute zu ihrer Bedienung erfordert und von der Fig. 49 einen Schneidekopf dieser Maschine darstellt. Eine Schraubenspindel a wird sehr langsam durch eine Schraubenmutter W, welche durch zwei Spreizen z am Rande des bereits ausgebohrten

Stückes festgehalten wird, weiter gedreht, sodaß dadurch zwei Zahnräder h theils weiter geschoben, theils selbst in eine drehende Bewegung um die Hauptaxe a versetzt werden. Diese Zahnräder selbst werden aber durch eine Transmission S in ziemlich schnelle Umdrehung um ihre eigene Axe versetzt und führen dabei zwei Schneideköpfe e mit sich im Kreise herum. Jeder dieser Schneideköpfe hat in seinem Umfange sechs Einschnitte, in welche Zapfen, die kreisförmige Stahlschneiden tragen, eingelassen sind. Diese kreisförmigen Schneiden stehen etwas schräg und schaben bei der Umdrehung das Gestein ab. Hierbei wird die Tunnelöffnung in einer Weite von 9 Fuß Durchmesser sogleich vollständig ausgebohrt, sodaß ein Nacharbeiten mit dem Meisel nicht mehr nothwendig ist; auch der herabfallende Schutt wird durch die Maschine selbst nach einem Wagen, der sich hinter ihr befindet, zurück befördert.

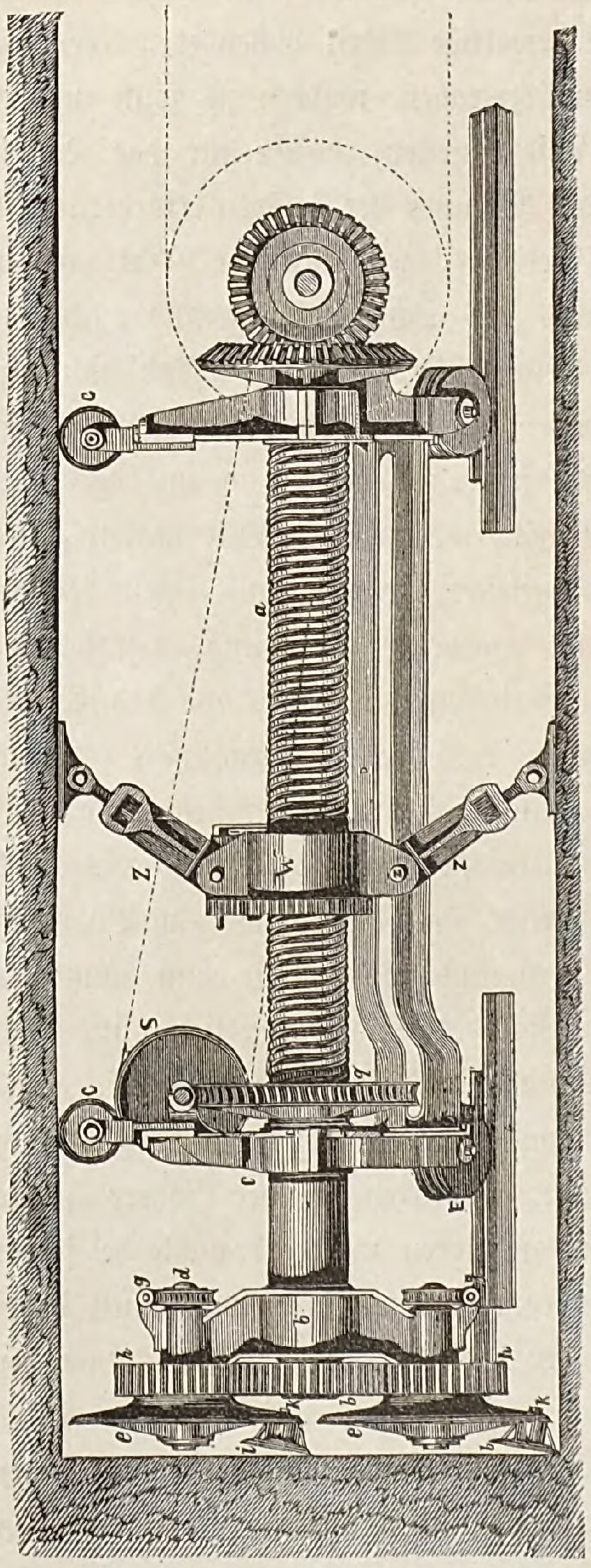


Fig. 49. Schneidekopf der Bohrmaschine.

In dem vorliegenden Falle sind die Versuche, die comprimirte Luft als bewegende Kraft dort anzuwenden, wo die Benutzung der Dampfkraft auf nicht zu überwindende Schwierigkeiten stoßen würde, von solchem Erfolge gekrönt worden, daß man immer mehr in Ueberlegung zieht, ob es nicht vortheilhaft sei, dieselbe Kraft auch bei anderen Arbeiten zu benutzen. So könnte man z. B. in den Gegenden, welche reich an

Wasserfällen und schnell strömenden Flüssen sind, diese Wasserkräfte, welche die Natur unentgeltlich liefert, zum Zusammendrücken der Luft benutzen, und diese comprimirte Luft würde sich leicht durch Röhren bis in die einzelnen Behausungen der Gewerbtreibenden leiten und dort zur Verwendung bringen lassen: so also, wie in den größeren Städten das Wasser oder das Licht in Form von Leuchtgas von einem Centralpunkte aus in die einzelnen Häuser eingeleitet wird, kann vielleicht in Zukunft auch die Kraft für den Gewerbsbetrieb unter der Form von weiter geleiteter comprimirter Luft von einer Centralstelle aus geliefert werden. Ob sich dieser Gedanke einmal realisiren läßt, muß die Zukunft lehren: für jetzt wollen wir nur noch einen Fall, in welchem die comprimirte Luft unterirdische Arbeiten unterstützt, erwähnen, nämlich ihre Anwendung bei der Gründung der Brückenpfeiler. Die Art, wie man in neuerer Zeit Pfeiler größerer Brücken gründet, ist zwar in einzelnen Fällen in der Ausführung etwas verschieden, im Grunde beruht sie aber immer auf denselben Grundsätzen, sodaß wir uns begnügen können, als Beispiel kurz zu beschreiben, in welcher Weise die Gründung der Pfeiler für die Rheinbrücke bei Kehl nach den Angaben des Ingenieur Triger erfolgte: zur Erläuterung geben wir in Fig. 50 die Ansicht eines für die Gründung errichteten Werftes und der von demselben aus versenkten Kiste, in welcher die Arbeiter mit der Aufgrabung des Bodens beschäftigt sind.

Die Kiste, welche auf dem Grunde ruht, besteht aus sehr starken Eisenplatten, welche sowohl an den Wänden ringsherum, als auch auf dem Deckel durch starke Bolzen, Klammern und Schienen fest zusammen gehalten werden: ihre untere Seite ist offen, während sich im Deckel drei kreisrunde Oeffnungen befinden, in welche eiserne Röhren eingesetzt sind. Die beiden äußeren dieser Röhren endigen am Deckel selbst und stehen mit Luftkammern in Verbindung, von denen aus ein Strom comprimirter Luft in die Kiste eingeleitet werden kann; die mittlere Röhre dagegen reicht nicht allein durch die ganze Kiste hindurch, sondern steht noch ein Stück über ihren unteren Rand hervor. Wenn man nun dieses Gefäß, welches man als eine Taucherglocke bezeichnen kann, bis auf den Grund des Gewässers versenkt, während die Röhren oben offen sind, so wird in letzteren das Wasser bis zum Niveau des Flusses aufsteigen: sobald man aber die Seitenrohre schließt und das eine derselben,

wie aus der Abbildung zu ersehen ist, mit einer Compressionspumpe, die sich auf einem Boote auf der rechten Seite der Zeichnung befindet, in Verbindung setzt, so wird die eindringende Luft das Wasser aus der Kiste austreiben, sodaß schließlich der Grund trocken liegt; nur die mittlere Röhre, welche tiefer herabreicht als die Kiste, wird mit Wasser erfüllt

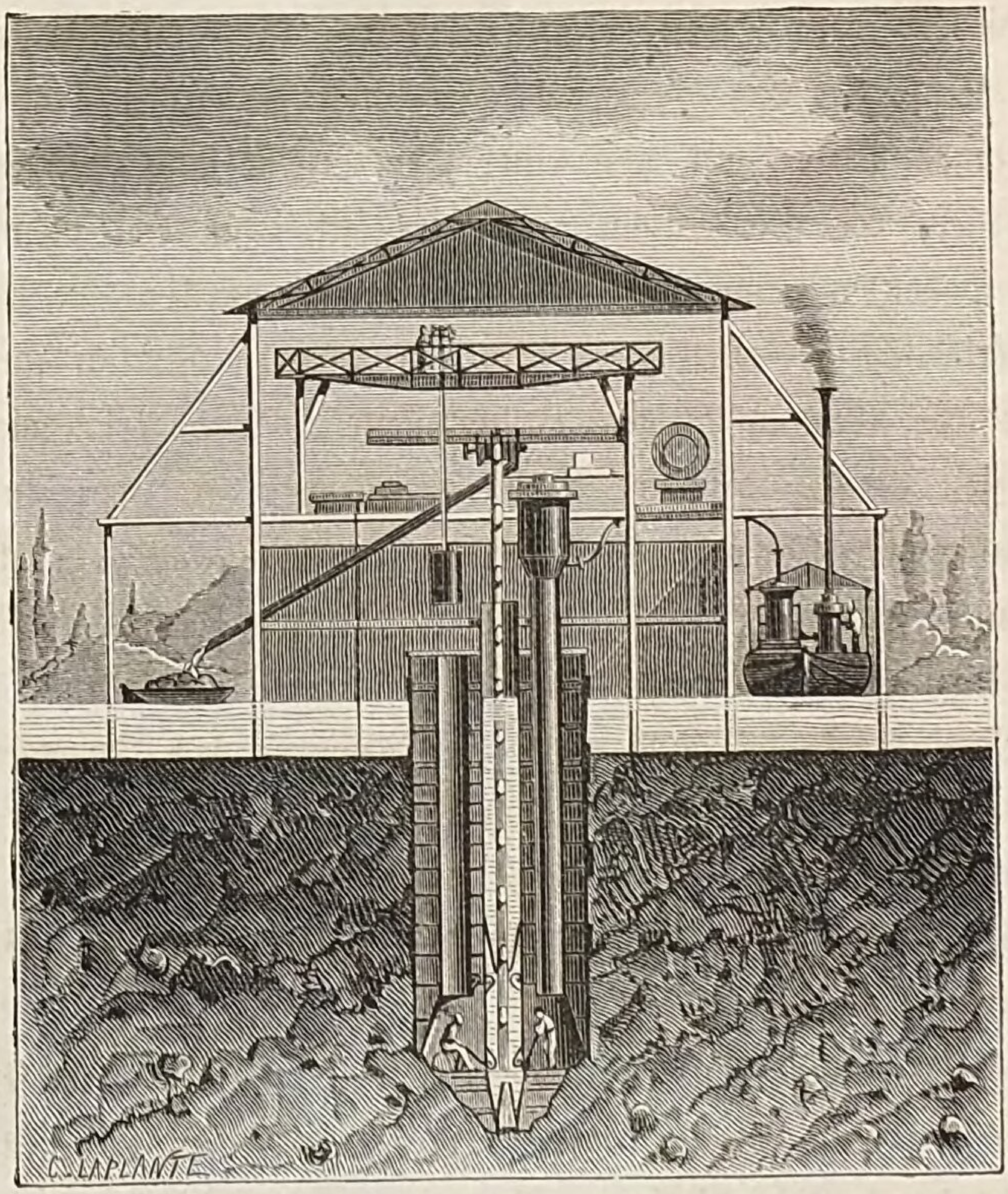


Fig. 50. Gründung der Brückenpfeiler unter Mitwirkung der comprimirten Luft.

bleiben. Sobald alles Wasser aus dem Inneren ausgetrieben ist, steigen die Arbeiter mittels einer Art Schleusensystem durch die andere seitliche Röhre, welche sofort wieder über ihnen geschlossen wird, hinab und beginnen ihre Arbeit unter dem Schutze des Druckes der comprimirten Luft, welche bei einer Spannung von 2—3 Atmosphären das Wiedereindringen des Wassers hindert: sie graben den Boden auf und schieben die Trümmer unter die mittlere längere Röhre; hier wird das Erdreich von den Eimern einer Baggermaschine oder eines sogenannten Paternosterwerkes, welche in dieser Röhre auf- und absteigen, ergriffen, zu Tage befördert, und nach einem Boote hin abgeladen. Auf die Kisten selbst

gründet man das Mauerwerk der Pfeiler, welches durch seine Last jene immer weiter herabpreßt, bis sie in die gewünschte Tiefe gelangt sind: sind dann die Arbeiter zum letzten Male aus der Tiefe heraufgestiegen, so füllt man die Röhren mit Grundmörtel, und damit ist die Gründung vollendet. Noch mag erwähnt werden, daß das Arbeiten in der comprimirten Luft nicht ohne Gefahr für die Gesundheit ist.

Die Brücke von Kehl ruht auf 2 Land- und 4 Strompfeilern: von letzteren werden die beiden äußeren von je 4, die inneren aber, welche etwas weniger stark sind, von je 3 Kisten getragen.

§ 4. Die comprimirte Luft als Beförderungsmittel.

Schon seit einer Reihe von Jahren hat die Telegraphenverwaltung von Paris zwischen den beiden Stationen des Grand Hôtel und des Börsenplatzes eine Verbindung durch Röhren herstellen lassen, durch welche Briefe und kleinere Packete mit Hilfe der comprimirten Luft vön einem Endpunkte zum anderen befördert werden, und auch in Berlin hat man vor einiger Zeit die Hauptstationen der städtischen Post durch ähnliche Leitungen mit einander verbunden. Das Pariser Verbindungsrohr der beiden Stationen hat eine Länge von 1100^{m} bei einem inneren Durchmesser von $6\frac{1}{2}^{cm}$ und läuft an jedem Ende in einen weiteren Ansatz oder eine Kammer aus, in welcher die Kolben, welche die Depeschen in sich einschließen, in das Rohr eingeführt oder aus demselben ausgehoben werden können. Diese Kolben sind selbst cylindrische Büchsen, die an einem Ende fest verschlossen, am andern aber mit einem beweglichen Deckel versehen sind, sodaß die Briefschaften und selbst kleinere Packete in sie eingeschoben werden können: am vorderen Ende trägt jeder Kolben einen Lederring, der sich so eng an die Wände der Röhre anschmiegt, daß die comprimirte Luft nicht neben ihm ausströmen kann. Will man von einer Station aus einen gefüllten Kolben nach der anderen befördern, so setzt man die Röhrenkammer an der Ausgangsstation mit der Compressionspumpe durch einen Hahn in Verbindung, während an der Empfangsstation die Kammer nach der freien Luft hin geöffnet wird, damit die in der Röhre eingeschlossene Luft beim Vorrücken des Kolben vor demselben entweichen kann.

Die Verdichtung der Luft erfolgt bei dieser pneumatischen Post

auf eine eben so einfache als billige Weise, indem man dazu den Druck des Wassers der städtischen Wasserleitung benutzt, welcher an jeder Station ungefähr so stark wirkt, als ob das Wasser aus einer Höhe von 15 m herabfiele. Zu diesem Zwecke sind auf jeder Station drei Behälter aus Eisenblech aufgestellt, von denen das eine das Wasser der Leitungen in sich aufnimmt: in dem Maße nun, als das Wasser dasselbe erfüllt, drängt es die Luft aus ihm heraus in die beiden anderen Behälter und verdichtet sie in ihnen. Dadurch, daß man das angesammelte Wasser durch einen Hahn wieder abfließen läßt, kann man die Manipulation mehrmals wiederholen, bis die Luft in den beiden Behältern die erforderliche Dichtigkeit erlangt hat. Um dieses Resultat zu erlangen, braucht man etwa 3 Minuten, und es hat dann die Luft eine solche Dichtigkeit, daß sie den Kolben binnen 90 Secunden durch die ganze Länge der Röhre hindurchtreibt, sodaß sich derselbe mit einer mittleren Geschwindigkeit von 12 m bewegt. Trotz der ziemlich bedeutenden Anlagekosten ist doch wohl anzunehmen, daß dieses System für weit ausgedehnte, volkreiche Städte, in denen der Verkehr zwischen den einzelnen, weit von einander entfernten Stadttheilen immer mehr Mittel in Anspruch nimmt, sehr große Vortheile gewährt, daß es eine wesentliche Beschleunigung der Correspondenz ermöglicht, ja daß sich mit ihm vielleicht schließlich noch billiger arbeiten läßt, als mit anderen Verkehrsmitteln: und so darf man wohl erwarten, daß diese Erfindung immer mehr zur Anwendung kommen wird.

In London besteht nur eine pneumatische Post, dort pneumatic Dispatch genannt, von 500 m Länge zwischen Euston und der Poststation in der Eversholt street: die Röhre, in welcher sich die kleinen Wagen mit den Correspondenzen bewegen, ist eine Art Tunnel aus Gußeisen von 84 cm Durchmesser, an dessen unterer Seite zwei Schienen entlang laufen; die Wagen aber sind hohle eiserne Kapseln, welche äußerlich die Form der Röhre besitzen, aber zwischen ihren Wänden und denen der Röhre ungefähr 3 cm Flucht lassen. Der Bewegungsapparat, den der Erfinder Rammel als pneumatischen Injector bezeichnet, ist nur auf der einen Station aufgestellt und so eingerichtet, daß er bald comprimirte Luft liefert, welche durch ihre Spannung die Wagen nach der anderen Station treibt, bald aber wieder die Luft in der Röhre theilweise verdünnt, sodaß nun die Wagen durch den Druck der

Atmosphäre zurückbefördert werden. Man sieht, daß hierbei ein zusammengesetztes System zur Anwendung kommt, daß nämlich abwechselnd der Druck der comprimirten Luft und der Atmosphäre als Motor gebraucht wird, während bei der pneumatischen Post, wie sie in Paris und Berlin im Gebrauche ist, die Bewegung nur durch comprimirte Luft erzeugt wird. Rammel, der Erfinder der Londoner pneumatischen Post, ist nun in seinen Versuchen noch weiter gegangen und hat den Gedanken, der, wie wir S. 52 erwähnten, von Wallance herrührt, zur Ausführung gebracht, indem er im Park von Sydenham einen weiten Tunnel erbaute, durch welchen ein mit Personen besetzter Wagenzug

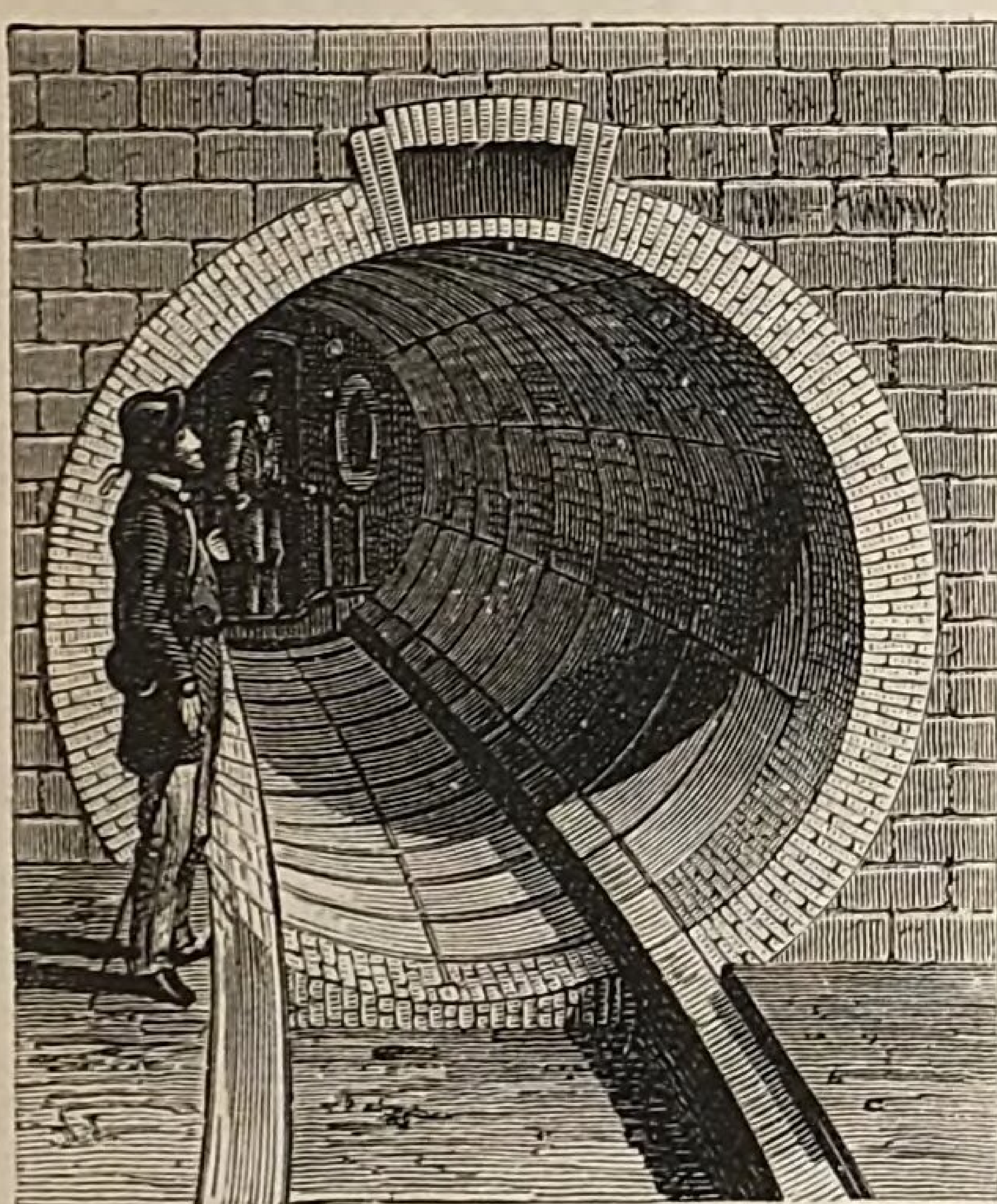


Fig. 51. Atmosphärische Eisenbahn in New-York.



Fig. 52. Inneres eines Wagens.

durch den Druck der Luft befördert werden konnte. Der erste Wagen des Zuges trug einen Ring, der ein wenig kleiner war als der Querschnitt der Röhre, um welchen sich aber ein Bausch oder eine Bürste herumlegte, durch welchen das Vorbeiströmen der Luft genügend gehindert wurde. Wie bei der von ihm construirten pneumatischen Post ließ Rammel auch bei dieser atmosphärischen Bahn abwechselnd den Druck der comprimirten Luft und den Ueberschuß des atmosphärischen Druckes über den Druck verdünnter Luft wirken. Auch in New-York hat man eine atmosphärische Bahn derselben Construction auf einer kurzen Strecke von Warren street nach Norden hin erbaut, in deren Tunnel ein Personenwagen durch den Druck der Luft befördert wird (Fig. 51 u. 52).

Abgesehen von der pneumatischen Post sind die Versuche den Luftdruck als Beförderungsmittel anzuwenden vor der Hand doch nur als interessante Experimente anzusehen, die zwar im Kleinen ohne Schwierigkeit gelingen, während sich bis jetzt noch unübersteigliche Hindernisse entgegengestellt haben, sobald man es unternahm sie im großen Maßstabe auszuführen; für jetzt ist auch nur wenig Aussicht vorhanden, daß man jene Betriebskraft für die Weiterbeförderung größerer Massen verwenden kann, und so wird man sich wohl damit begnügen müssen, daß man die großen Städte mit einem Netze von Röhrenleitungen durchzieht, durch welche Briefe und kleinere Sendungen von einem Stadttheile nach dem anderen gleiten.

Fünftes Kapitel.

Die Luftschifffahrt.

§ 1. Anwendung des Archimedischen Princips auf das Aufsteigen in der Luft.

Als wir im § 2 des II. Kapitels des archimedischen Princips Erwähnung thaten, nach welchem jeder in eine Flüssigkeit getauchte Körper an seinem Gewichte so viel verliert, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt, so nahmen wir an jener Stelle zunächst nur auf die tropfbar flüssigen Körper Bezug. Ganz dasselbe Gesetz gilt aber auch für die luftförmigen Körper: und so wie wir sehen, daß ein Körper im Wasser aufsteigt und an der Oberfläche schwimmt, sobald er weniger wiegt, als die Wassermasse, welche denselben Raum einnehmen würde, so können wir auch denselben Vorgang im Luftmeere beobachten. Sobald also gewisse Körper weniger wiegen, als die Luft welche sie verdrängen, so steigen sie auf, bis sie in eine Höhe gelangen, in der die Luft so dünn ist, daß nunmehr das Gleichgewicht sich herstellt: in dieser Weise sehen wir in unserer Atmosphäre Rauch, Dämpfe, Wolken u. s. w. aufsteigen, während alle diese Körper doch auch von der Erde angezogen werden und mithin auf den Boden herabsinken müßten, wenn unser Planet der Lufthülle entbehrte.

Für dieses Aufsteigen ist das einzige Erforderniß, daß das specifische Gewicht des Körpers kleiner sei, als das der Luft, in welche er getaucht ist. Nun wiegt ein Kubikmeter atmosphärische Luft bei einem Barometerstande

von 760 mm und einer Temperatur von 0° 1,29 Kgr., ein Kubikmeter Wasserstoff dagegen unter gleichen Umständen nur 0,09 Kgr., da die Dichtigkeit des letzteren Stoffes ungefähr fünfzehnmal geringer ist, als die der Luft. Denken wir uns also einen Kubikmeter Wasserstoffgas in eine undurchlässige Hülle eingeschlossen, so wird die atmosphärische Luft gegen denselben so stark drücken, als wollte sie ein Gewicht von 1,29 Kgr. aufheben: da nun der Wasserstoff nur 0,09 Kgr. wiegt, so bleibt immer noch ein Ueberschuß an Kraft von 1,20 Kgr. Sobald also das Gewicht der Hülle weniger beträgt, als 1,20 Kgr., so wird der Körper senkrecht aufgehoben mit einer Kraft, welche man den Auftrieb oder die Steigkraft nennt, und welche gleich den Ueberschüssen des Gewichtes der verdrängten Luft über das Gewicht des Gases mit seiner Hülle ist. Sobald nun diese mit Gas gefüllte Hülle oder dieser Ballon in größere Höhe kommt, so wird die Dichtigkeit der Luft, in welcher er schwebt, allmählich immer geringer, und damit wird auch die Steigkraft immer mehr abnehmen, bis der Ballon endlich in eine Schicht kommt, in welcher sein Gewicht gleich dem der verdrängten Luft ist: von hier aus steigt er nicht weiter, und wenn er sich dennoch bewegt, so geschieht dies infolge der Luftströmungen, die ihn mit sich fortreißen.

So einfach diese Theorie auch ist, so wurde sie doch in voller Klarheit erst durch Joseph Montgolfier erkannt, und diesem berühmten Physiker gelang es auch zuerst im Jahre 1783 die praktische Anwendung von ihr zu machen. Das Streben zwar, sich in die Luft zu erheben, ist uralt und reicht bis in die Zeit der Mythe zurück, die Versuche aber, dasselbe zu befriedigen, mußten bis zur Zeit jenes Physikers alle daran scheitern, daß diejenigen, die sich mit diesem Problem beschäftigten, mehr über eine lebhafte Phantasie, als über genaue Kenntnisse der mechanischen Gesetze zu verfügen hatten.

Sicherlich kannte Montgolfier die Untersuchungen, welche Black, Cavendish, Cavallo und andere über das Wasserstoffgas angestellt hatten, und ihm war der Versuch gewiß nicht fremd, daß Seifenblasen, welche mit Wasserstoffgas gefüllt sind, in die Luft aufsteigen (Fig. 53). Daher fertigte er anfangs kleine Ballons aus Seide oder Papier an, füllte dieselben mit Wasserstoffgas, und beobachtete, wie sie aufstiegen, um aber sehr bald wieder herabzufallen, weil das feine Gas sehr schnell durch die wenig dichte Hülle entwich. Aus diesem Grunde ersetzte er das

Wasserstoffgas durch heiße Luft, welche zwar dasselbe an Dichtigkeit weit übertrifft, welche aber doch noch viel leichter ist, als die kalte Luft, und hatte außer dem Vortheile, daß das Entweichen durch die Hülle viel langsamer erfolgte, auch noch den weiteren, daß die Herstellungskosten weit geringer waren. Den ersten Versuch in größerem Maßstabe stellte Montgolfier am 5. Juni 1783 zu Annonay vor den Ständen von Vivarais und einer ungeheuren Menschenmenge an; er ließ unter den begeisterten Zurufen der Zuschauer einen Ballon bis zu einer senkrechten

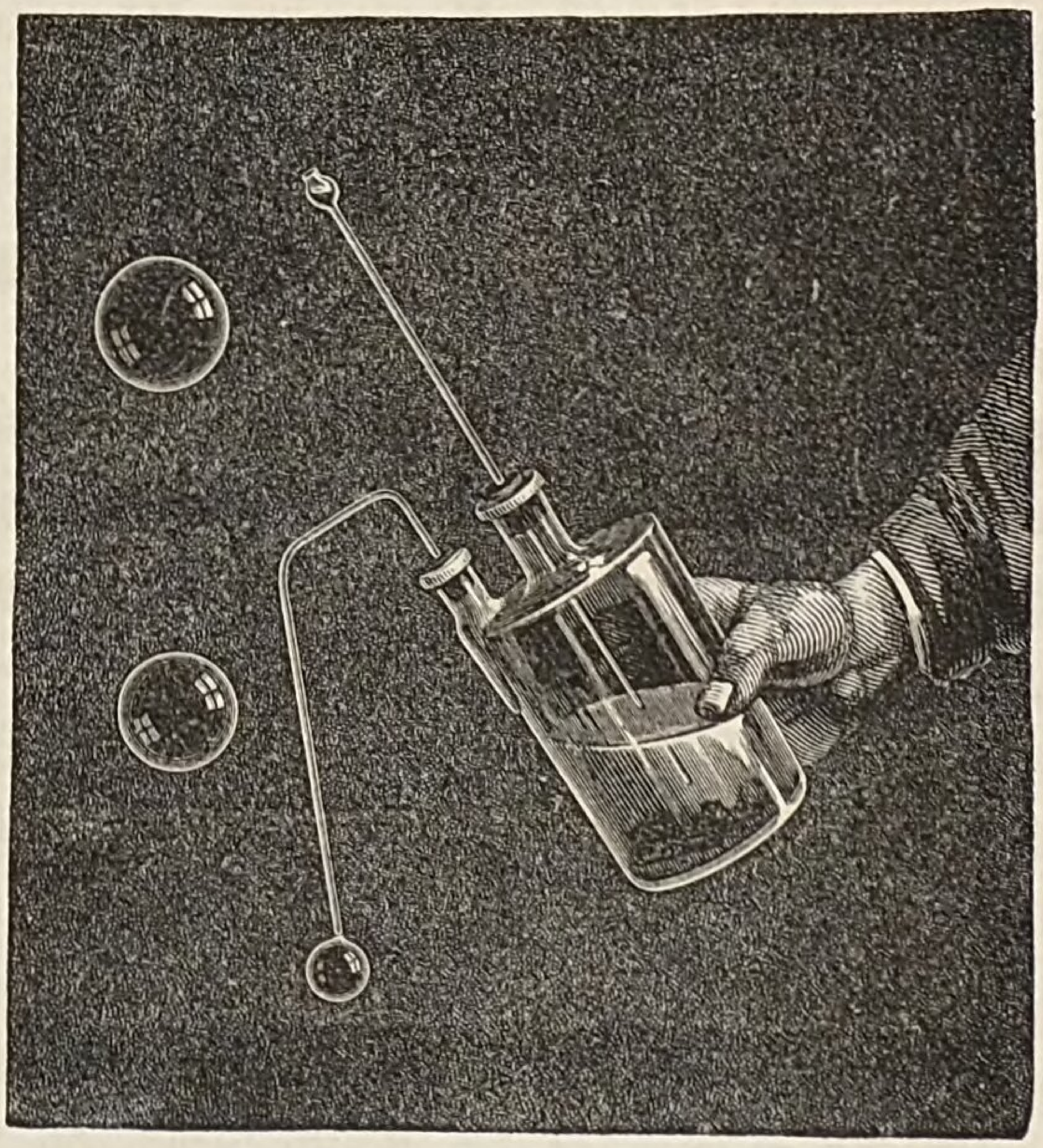


Fig. 53. Aufsteigen von Seifenblasen, die mit Wasserstoffgas gefüllt sind.

Höhe von 1000 Toisen (fast 2 Kilometer) aufsteigen, nachdem er denselben mit Luft erfüllt hatte, welche über einer am Ballon selbst hängenden Kohlenpfanne erhitzt war und durch eine Oeffnung von Unten her in den Ballon einströmte.

Bevor noch seit dem glücklichen Gelingen der Versuche von Annonay, deren Ruhm sich mit großer Geschwindigkeit ausbreitete, ein Vierteljahr verflossen war, ließ ein anderer französischer Physiker, Namens Charles, ebenfalls einen Ballon in der Nähe von Paris steigen: doch da Montgolfier das Publikum in Unkenntniß darüber gelassen hatte, welche Luftart er zur Füllung seines Ballons benutzte, so bediente sich Charles des Wasserstoffgases, welches er aus Schwefelsäure und Eisen entwickelte und in

solcher Menge darstellte, daß dieser Proceß mehrere Tage in Anspruch nahm. Die Hülle des Ballons construirte er aus Seidentaffet, den er dadurch dichtete, daß er ihn mit Kautschuk, welcher in siedendem Terpentinöl aufgelöst war, tränkte. Am 27. August 1783 stieg dieser erste Ballon, der mit Wasserstoffgas gefüllt war und den Namen Globe trug, vor den Augen einer unabsehbaren Menschenmenge vom Marsfelde bei Paris auf und fiel nach Verlauf von drei Viertelstunden bei Gonesse nieder: im ersten Anlaufe hob er sich bis zu einer senkrechten Höhe von ungefähr 1000 Meter, verschwand dann in den Wolken, um aber bald darauf in einer Wolkenlücke in viel bedeutenderer Höhe wieder aufzutauchen und seinen Weg bis in noch höhere Wolkenschichten fortzusetzen, wo er sich den Blicken der Menge dauernd entzog.

Es kann nicht unsere Aufgabe sein, hier eine Geschichte der Luftfahrten zu geben, deren Zahl seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts bis in unsere Tage beständig gewachsen ist: nur jenen beiden ersten Versuchen mußten wir einige Worte widmen, nicht allein wegen des ungeheuern Aufsehens, das sie machten, und der Begeisterung, welche diese wichtige Entdeckung hervorrief, sondern hauptsächlich, weil bei ihnen bereits die beiden Systeme angewendet wurden, nach denen wir noch jetzt die Luftballons in zwei Classen theilen; wir nennen die Ballons, die mit heißer Luft gefüllt werden, Montgolfièren, die mit Wasserstoff oder einem anderen Gase gefüllten dagegen Charlièren, während wir im Deutschen den Namen Luftballon gleichmäßig für beide Arten anwenden. Die weitere Entwickelung dieser merkwürdigen Anwendung der hydrostatischen Principien auf die luftförmigen Körper in Verbindung mit den Entdeckungen der Chemie, welche von der damaligen Zeit an erst auf den Rang einer Wissenschaft Anspruch erheben durfte, erfolgte ziemlich rasch, dann aber trat ein Stillstand ein, sodaß wir gestehen müssen, daß wir in dieser Beziehung jetzt noch nicht wesentlich weiter sind, als zu Anfang des Jahrhunderts: besonders aber ist es noch nicht gelungen, das Problem der Lenkbarkeit, auf welches wir noch zu sprechen kommen, der Lösung viel näher zu bringen.

Bei den ersten Versuchen, die Montgolfier und Charles anstellten, ließ man nur die Ballons allein sich in die Luft erheben: allein der Gedanke, daß dieser Apparat auch Menschen in die höheren Luftschichten hinauftragen und dadurch die Kenntniß der Vorgänge in der Atmosphäre

fördern könnte, lag zu nahe, als daß die Ausführung lange auf sich hätte warten lassen. Und so unternahm noch in demselben Jahre ein junger Naturforscher Pilâtre de Rozier in Begleitung eines Edelmannes Namens d'Arlandes das kühne Wagniß, sich mit einem Ballon in die Luft zu erheben. Nachdem sie schon einigemal in einem Ballon, der an einem verankerten Taue befestigt war, einem sogenannten gefangenen Ballon (ballon captif) aufgestiegen waren, erhoben sie sich am 21. October 1783 in einer freien Montgolfière (Fig. 54) bis zur Höhe von ungefähr einem Kilometer und gelangten in zwei Meilen Entfernung

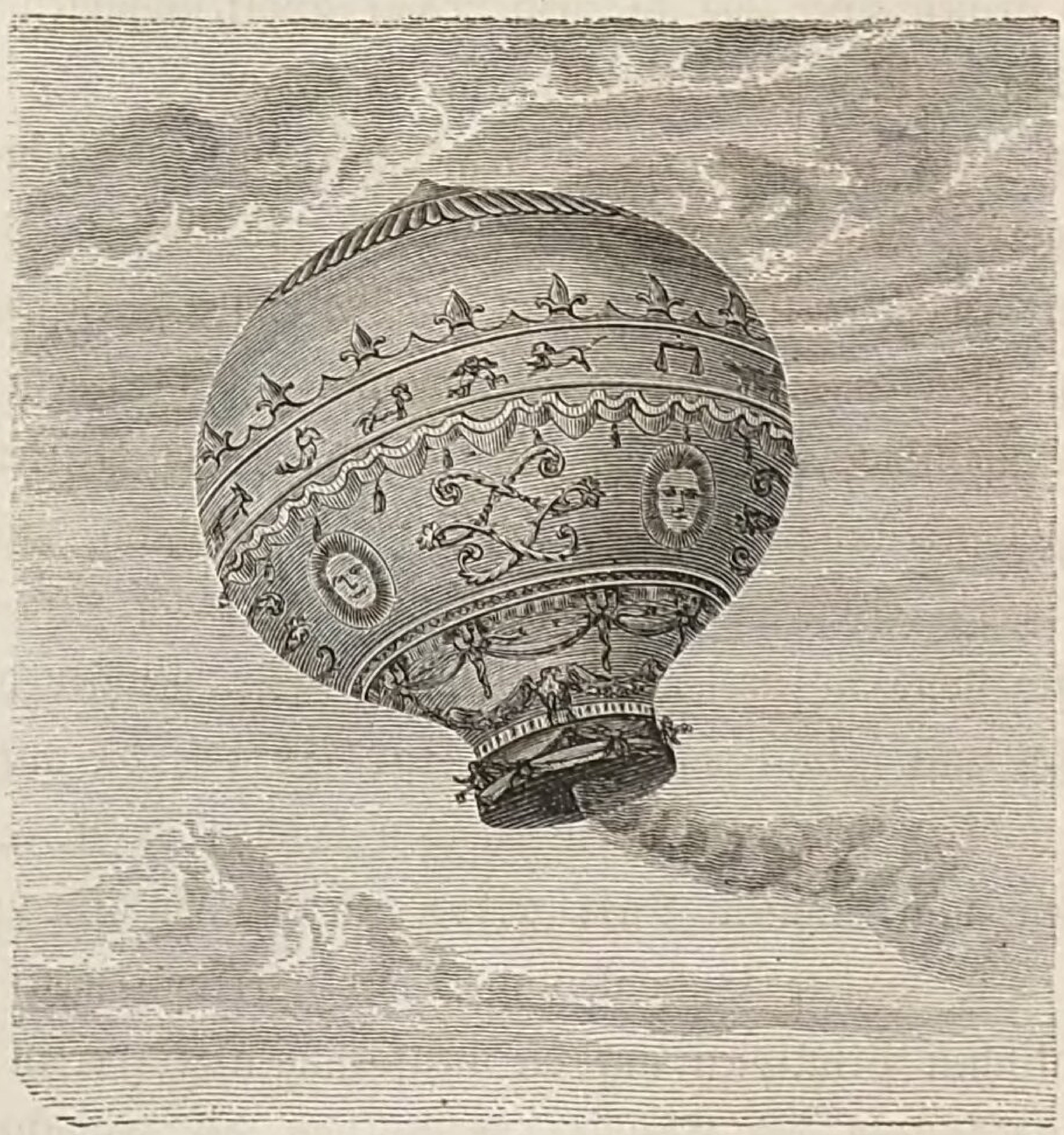


Fig. 54. Luftfahrt Pilâtre de Rozier's am 21. October 1783.

von dem Orte der Abfahrt wohlbehalten wieder zur Erde; auf ihrer Reise aber waren sie quer über die Stadt Paris hinweggefahren. Somit war der erste Versuch das Reich der Lüfte zu erobern mit dem besten Erfolge gekrönt und das Beispiel der beiden kühnen Luftschiffer reizte zur Nachahmung; immer zahlreicher wurden die Reisen in jene neu entdeckten Gefilde und nicht immer blieb der Verlauf ein so günstiger: mehrfach verunglückten die Fahrten und bereiteten den kühnen Forschern einen jähen Untergang, und auch Pilâtre de Rozier fand im Januar

des Jahres 1785 seinen Tod, als er die Meerenge, die Frankreich von England trennt, überfliegen wollte, ein Unternehmen, das im vorhergehenden Jahre den Luftschiffern Blanchard und Jeffries geglückt war.

§ 2. Construction und Füllung der Luftballons.

Den Luftballons beider Art giebt man am besten die Form einer Kugel, welche nach Unten zu noch einen Ansatz in Gestalt eines Cylinders oder Kegels trägt, weil unter allen Körpern von gleichem Rauminhalte die Kugel die kleinste Oberfläche besitzt: wählt man also die Kugelform, so ist das Gewicht der Hülle, welche von einer bestimmten Gasmenge getragen werden soll, möglichst klein. Hierzu kommt noch weiter, daß der Druck der Gase, welche in eine Hülle eingeschlossen sind, auf die Oberfläche nur dann ein gleichmäßiger ist, wenn die Hülle kugelförmig ist, und daß mithin die Spannung der Gase selbst diese Gestalt herzustellen streben (Fig. 55). Bei den Montgolfièren muß die untere Oeffnung ungeschlossen bleiben, während man dieselbe bei den Charlièren hermetisch verschließt, um das Ausströmen des Gases möglichst zu verhindern.

Die Hülle besteht aus einzelnen Streifen, welche in der Mitte am breitesten sind und nach beiden Seiten hin spitz zulaufen, und welche wie Meridiane einer Kugel an einander genäht werden: es kommt hierbei besonders darauf an, daß nicht die geringste Spalte offen bleibt, ja sogar die Nadelstiche müssen sorgfältig verklebt werden und der Stoff selbst muß von so dichtem Gewebe sein, daß das Entweichen des Gases durch seine Poren möglichst gehindert wird, weil jeder Gasverlust die Steigkraft mindert. Montgolfier wendete bei seinem ersten Versuche Leinwand an, welche auf beiden Seiten mit Papier beklebt war und auf einem Netze von Bindfaden zusammen genäht wurde, welches an der Leinwand selbst befestigt war; beim zweiten Versuche benutzte er Packleinwand, welche er außen und innen mit sehr starkem Papier überzog. Daß der Ballon, den Charles steigen ließ, aus Seidentaffet, der mit einer Schicht Kautschuk überzogen war, bestand, haben wir bereits erwähnt. Barral und Bixio verfertigten den Ballon, mit welchem sie im Jahre 1850 zwei sehr wichtige Luftreisen unternahmen, ebenfalls aus Seidenzeug, welches sie durch einen Anstrich von Leinölfirniß mit Bleiglätte dicht machten. Sehr

empfehlenswerth ist es auch, die Hülle aus doppeltem Seidentaffet, zwischen welchem sich eine Lage Kautschuk befindet, anzufertigen.

Der Ballon wird in ein Netz von Fäden eingeschlossen, welches auf seiner oberen Hälfte dicht anliegt und sich erst etwas unterhalb der

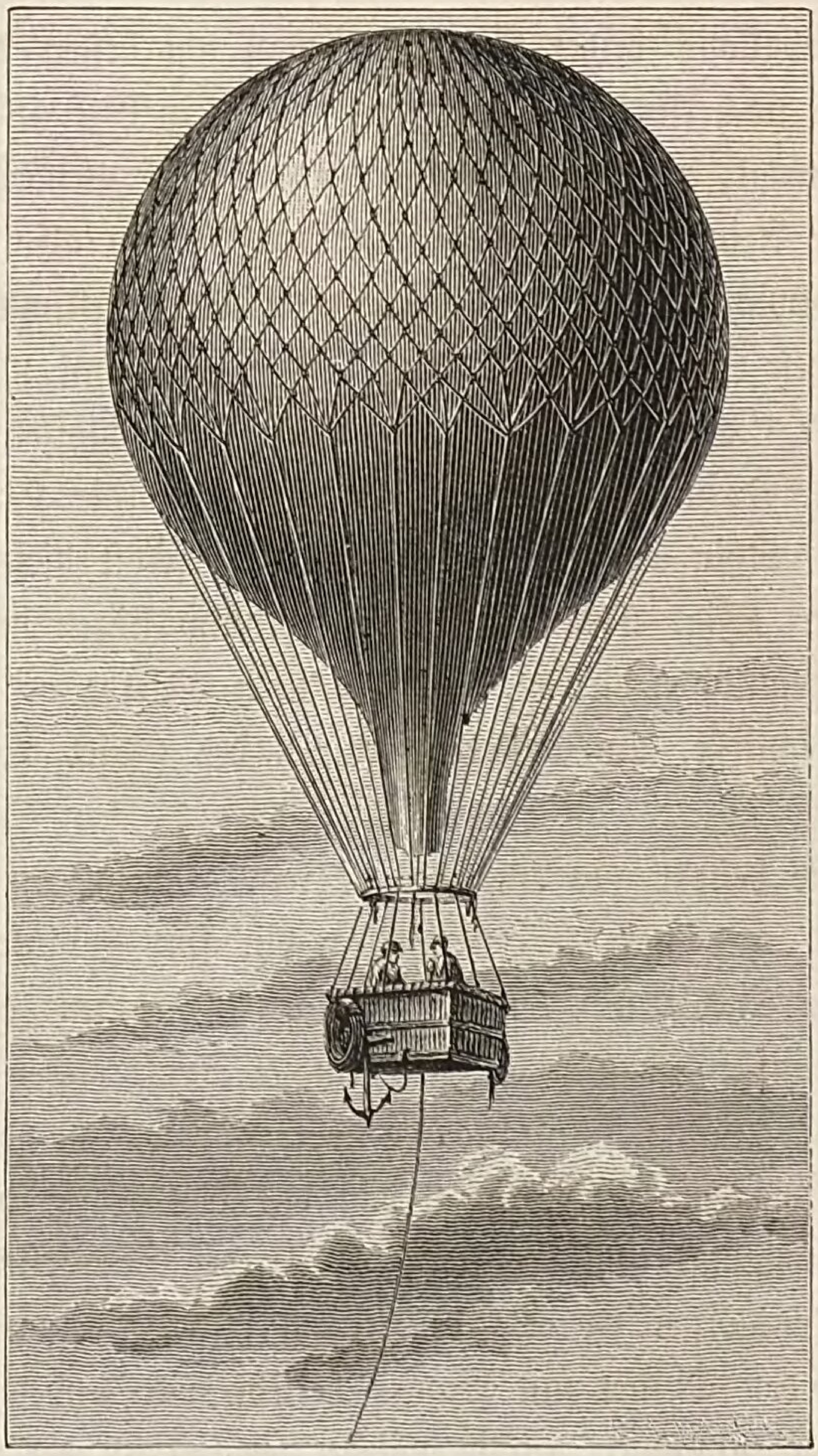


Fig. 55. Gestalt eines gefüllten Ballons.

Mittellinie der Kugel von ihm loslöst: alle einzelnen Fäden dieses Netzes aber vereinigen sich unterhalb des Ballons an einem sehr starken Holzringe, an welchem die Gondel für die Luftschiffer befestigt ist (Fig. 56). Diese Anordnung gewährt den Vortheil, daß sich die Last ganz gleichmäßig auf die Oberfläche des Ballons, den das Netz umschließt,

vertheilt und daß dadurch die Bedingungen des Gleichgewichtes für die Gondel und deren Insassen am besten erfüllt sind.

Will man eine Montgolfière füllen, so braucht man einfach nur einen Heizapparat unter die Oeffnung der Hülle zu stellen und in demselben brennbare Stoffe zu entzünden: die erhitzte Luft steigt dann vermöge ihres geringeren Gewichtes in den Schlund des Ballons hinauf und bläht die Hülle vermöge ihrer Spannkraft zur Kugelform auf. Um



Fig. 56. Gondel des Ballon Nordpol.

uns ein Urtheil über die Steigkraft einer Montgolfière bilden zu können, wollen wir bemerken, daß das Gewicht eines Kubikmeters Luft bei einem Barometerstande von 760 mm

bei 0°	1293 gr.
„ 10°	1247 „
„ 50°	1093 „
„ 100°	946 „

beträgt: die Steigkraft eines Kubikmeters Luft würde also bei 50° Erwärmung 200 gr., bei 100° 347 gr. betragen; sie steigt noch weiter, wenn man noch höhere Temperaturen anwendet, was recht gut möglich ist, doch hält es dann immer sehr schwer, die in der Hülle eingeschlossene Luft auf dieser höheren Temperatur zu erhalten. Bei kleineren Montgolfièren, durch die sich Niemand in die Luft hinauf tragen lassen will,

hilft man sich damit, daß man in dem Schlunde einen Flausch Watte oder Werg befestigt, der mit Spiritus getränkt ist und beim Aufsteigen des Ballons entzündet wird. Für größere Ballons hat man die Anwendung von Petroleumlampen empfohlen und Silbermann hat über diese Frage Untersuchungen angestellt, welche Beachtung verdienen; wenigstens würde dieses System den Vortheil gewähren, daß man das Steigen und Sinken des Ballons dadurch reguliren könnte, daß man die Lampen lebhafter oder matter brennen läßt. Auf alle Fälle sind die Montgolfièren der Gefahr des Verbrennens sehr ausgesetzt, selbst wenn man nach dem Vorschlage des Luftschiffer Godard die Heizvorrichtung mit einem Schornsteine versieht, welcher oberhalb durch ein feines Drahtnetz abgeschlossen ist, durch welches die Flamme nicht hindurchschlagen kann, wie wir später ausführlicher besprechen werden.

Schon aus dem zuletzt angeführten Grunde wendet man da, wo Menschen selbst in die Luft aufsteigen wollen, lieber die Charlièren an, obgleich dieselben sowohl bezüglich der Herstellung, als auch bezüglich der Unterhaltung viel größere Kosten verursachen. Ganz besonders aber

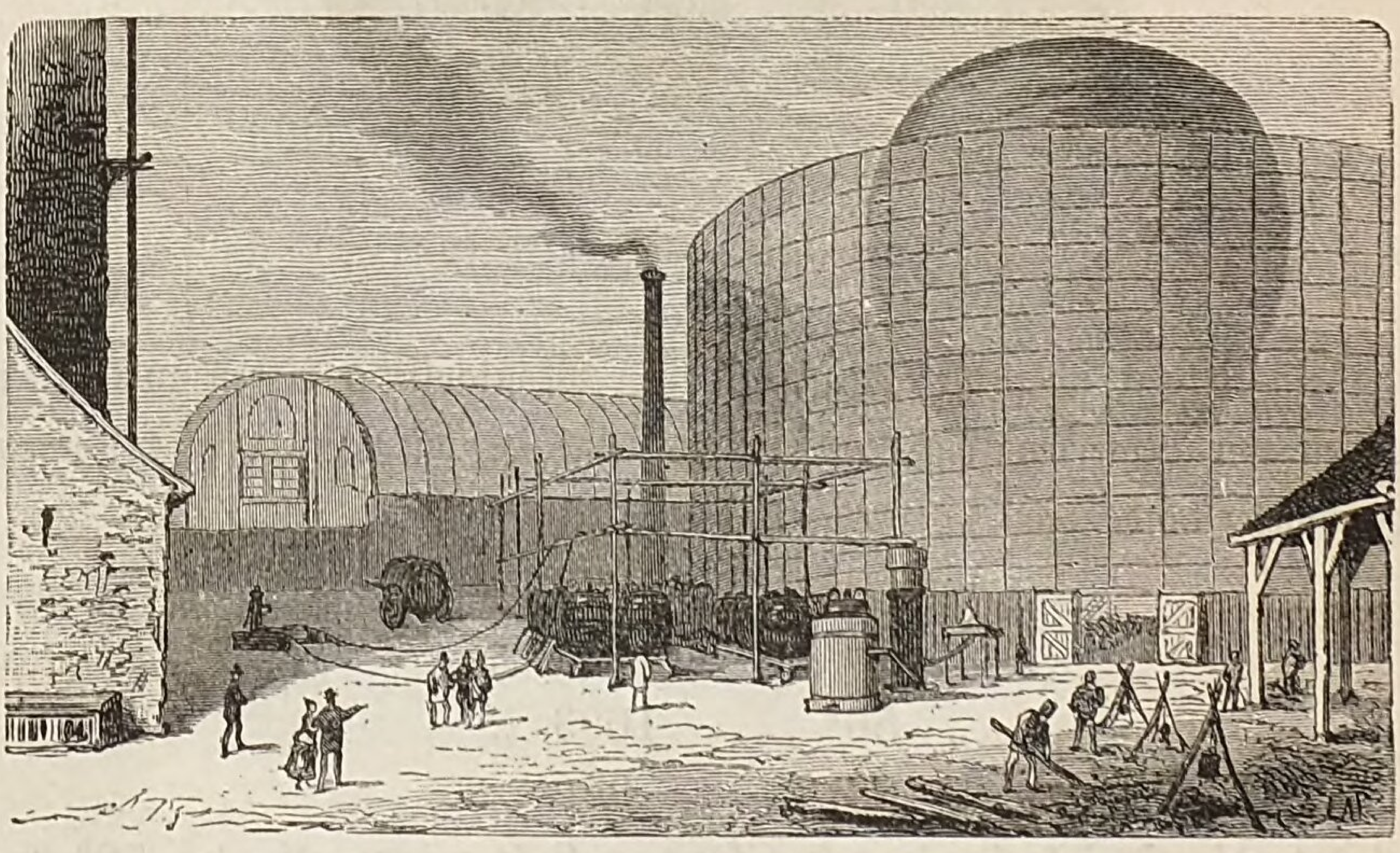


Fig. 57. Füllung eines Ballons mit Wasserstoffgas.

übertreffen sie die Montgolfièren bei Weitem an Steigkraft, welche für einen Kubikmeter Wasserstoffgas bei 0° nicht weniger als 1203 gr. beträgt.

Das Wasserstoffgas, welches man zur Füllung der Ballons anwendet, gewinnt man gewöhnlich durch die Einwirkung der verdünnten Schwefel-

säure auf Eisen oder Zink, doch haben Barral und Bixio an Stelle der Schwefelsäure auch Chlorwasserstoff= oder Salzsäure angewendet: man bringt die genannten Stoffe in eine Reihe von Tonnen und läßt das Gas, sowie es sich entwickelt, durch Röhren unter eine eiserne Glocke strömen, welche mit dem Boden nach Oben in einen Behälter mit Wasser getaucht ist, also in ihrer Form mit den gewöhnlichen Gasometern übereinstimmt (Fig. 57). Auf diesem Wege, wie auch beim weiteren Strömen nach dem Ballon, in welchen man es durch den unteren Anhang einströmen läßt, wird das Gas mehrfach durch Behälter geleitet, in denen es gewaschen und besonders von allen Dämpfen der Säure befreit wird, welche letzteren der Hülle schädlich werden könnten.

An Stelle des reinen Wasserstoffgases wendet man aber viel häufiger das bekannte Leuchtgas an, eine Verbindung von Kohlenstoff und Wasserstoff, weil man dasselbe in den größeren Städten immer vorräthig findet und weil die Herstellungskosten für dasselbe weit niedriger sind. Die Steigkraft dieser Luftart ist freilich viel geringer, da ihre Dichtigkeit bis zu $^5/_8$ von der der atmosphärischen Luft betragen kann: bei gutem Leuchtgas beträgt der Auftrieb aber doch immer noch bei 0^0 und 760^{mm} Barometerstand 693 gr. für den Kubikmeter. Um die Steigkraft zu erhöhen, unterwirft der berühmte Luftschiffer Green das Gas, das ihm von den Gaswerken geliefert wird, noch einem chemischen Processe, durch welchen ein Theil des Kohlenstoffes zurückbleibt: Glaisher aber empfiehlt zur Füllung der Ballons nur das Leuchtgas zu benutzen, das sich gegen Ende des Destillationsprocesses entwickelt; und so hat z. B der letztgenannte Naturforscher seine Luftfahrt vom 30. Juni 1862 mit einem Gase ausgeführt, dessen specifisches Gewicht nur 0,36 von dem der Luft, und dessen Steigkraft 830 gr. für den Kubikmeter betrug, also $^2/_3$ soviel, als die des reinen Wasserstoffgases. Fig. 58 zeigt die Füllung eines Ballons, mit dem sich Tissandier im Jahre 1868 von der Pariser Vorstadt la Villette aus erhob.

Wenden wir uns jetzt zu den Mitteln, welche dem Luftschiffer zu Gebote stehen um zu bewirken, daß der Ballon sich weiter in die Luft erhebe oder sich nach der Erdoberfläche herabsenke: denn weiter reicht bis jetzt die Macht, die der Luftfahrer über sein Schiff hat, noch nicht, und besonders die Bewegung in der horizontalen Richtung entzieht sich vor der Hand noch vollständig unserem Einflusse. Von der herrschenden

Windrichtung wird der Ballon mit fortgerissen und nahezu mit derselben Geschwindigkeit weiter getragen, mit der sich die Luftmasse selbst bewegt, sodaß der Insasse der Gondel den Wind gar nicht fühlt; und das einzige Mittel, welches man anwenden kann, um die Bewegung in bestimmter Richtung vor sich gehen zu lassen, ist, daß man den Ballon so lange aufsteigen oder herabsinken läßt, bis man in eine Luftschicht gelangt,

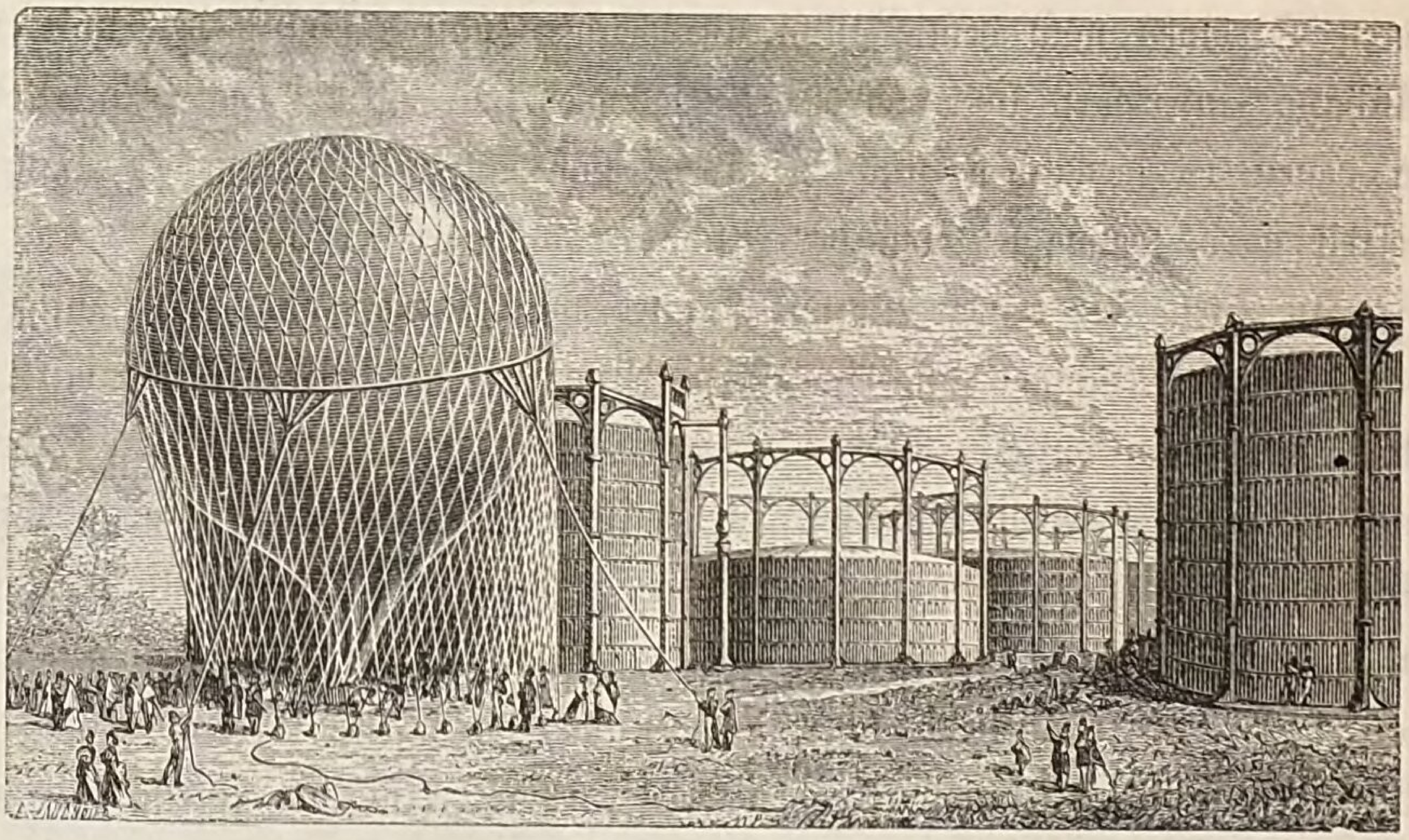


Fig. 58. Abfahrt eines Ballons vom Gaswerke zu la Villette.

welche sich in der gewünschten Richtung bewegt. Man sieht, daß auch dieses Mittel nur dann zur Anwendung gelangen kann, wenn in verschiedenen Höhen über dem Erdboden verschiedene Windrichtungen herrschen.

Bei den Montgolfièren ist dieses Reguliren des Aufsteigens und Herabsinkens mit großen Schwierigkeiten verknüpft und überhaupt nur dann möglich, wenn der Heizapparat mit in die Luft hinaufgenommen wird, wenn also z. B. die Erwärmung nach Silbermanns Vorschlage durch Petroleumlampen bewirkt wird: läßt man die Lampen lebhafter brennen, so wird die Luft stärker ausgedehnt und der Ballon steigt höher hinauf; erniedrigt man die Flammen, so kühlt sich die Luft ab und zieht sich dadurch zusammen, und der Ballon beginnt zu fallen. Das ganze Verfahren bleibt aber immer so unsicher, daß man die Montgolfièren gar nicht mehr anwendet, sobald Menschen in die Luft aufsteigen wollen: man fertigt sie nur noch in kleinem Maßstabe an und gebraucht sie als Spielwerke, die aber schon manchmal beim Niederfallen Feuersbrunst veranlaßt haben.

Viel zuverlässiger in der Handhabung sind dagegen die mit Wasserstoff oder Leuchtgas gefüllten Ballons, und manche Luftfahrer haben sich durch vielfache Erfahrungen, die sie auf ihren Reisen gesammelt haben, außerordentliche Sicherheit und Geschicklichkeit in der Verwendung der ihnen zu Gebote stehenden Mittel angeeignet. Will man sich mit einem solchen Ballon zu einer größeren Höhe erheben, so hat man freilich nur die eine Möglichkeit, daß man nämlich das Gewicht der Gegenstände, die man mit sich in die Höhe nimmt, vermindert. Zu diesem Zweck versieht man sich mit einer genügenden Menge von Ballast, d. h. man stellt in die Gondel Säcke, die mit Sand von solcher Feinheit gefüllt sind, daß derselbe beim Herabfallen aus der bedeutenden Höhe auf der Erdoberfläche keinen Schaden anrichten kann. Je nach Bedarf streut man diesen Sand, doch immer nur in sehr geringen Mengen aus, denn schon das Auswerfen einer Hand voll genügt, um eine beträchtliche neue Steigung zu bewirken; auch muß man immer sehr sparsam mit diesem kostbaren Material umgehen und darf es womöglich nie vollständig verausgaben, um beim Herabsinken immer die Möglichkeit zu behalten daß man sich wieder ein wenig in die Luft erhebe, im Falle, daß man sich auf ein Terrain herabgelassen habe, das zur Beendigung der Fahrt nicht geeignet ist. Im Nothfalle haben schon bei einigen Luftfahrten die Reisenden, wenn der Ballast zu Ende ging, Lebensmittel, überflüssige Kleidungsstücke, ja sogar die wissenschaftlichen Instrumente ausgeworfen, um sich nur schwebend zu erhalten oder vor einem jähen Sturze zu schützen.

Soll sich der Ballon senken, so kann man das dadurch bewirken, daß man etwas Gas ausströmen läßt, wodurch sich das Volumen des Ballons vermindert und dadurch das specifische Gewicht steigt: doch auch dieses Mittel muß mit großer Vorsicht angewendet werden, sodaß geschickte Luftschiffer es möglichst lange zu vermeiden suchen. Damit man das Ausströmen des Gases vollständig in der Gewalt habe, bringt man auf dem Gipfel des Ballons eine Klappe an, von welcher aus ein Seil im Innern des Ballons bis zur Gondel hinabreicht. Fig. 59 und 60 stellt zwei solche Klappen von Außen gesehen dar und beide Abbildungen lassen deutlich erkennen, welche starke Federvorrichtungen angebracht werden, durch die sich die Klappe sofort schließt, sobald der Zug an der Leine nachläßt. Das Herabsinken muß immer langsam und vorsichtig erfolgen;

denn wollte man sich mit einem Male aus beträchtlicher Höhe herab=lassen, so würde bei der immer wachsenden Geschwindigkeit des Falles

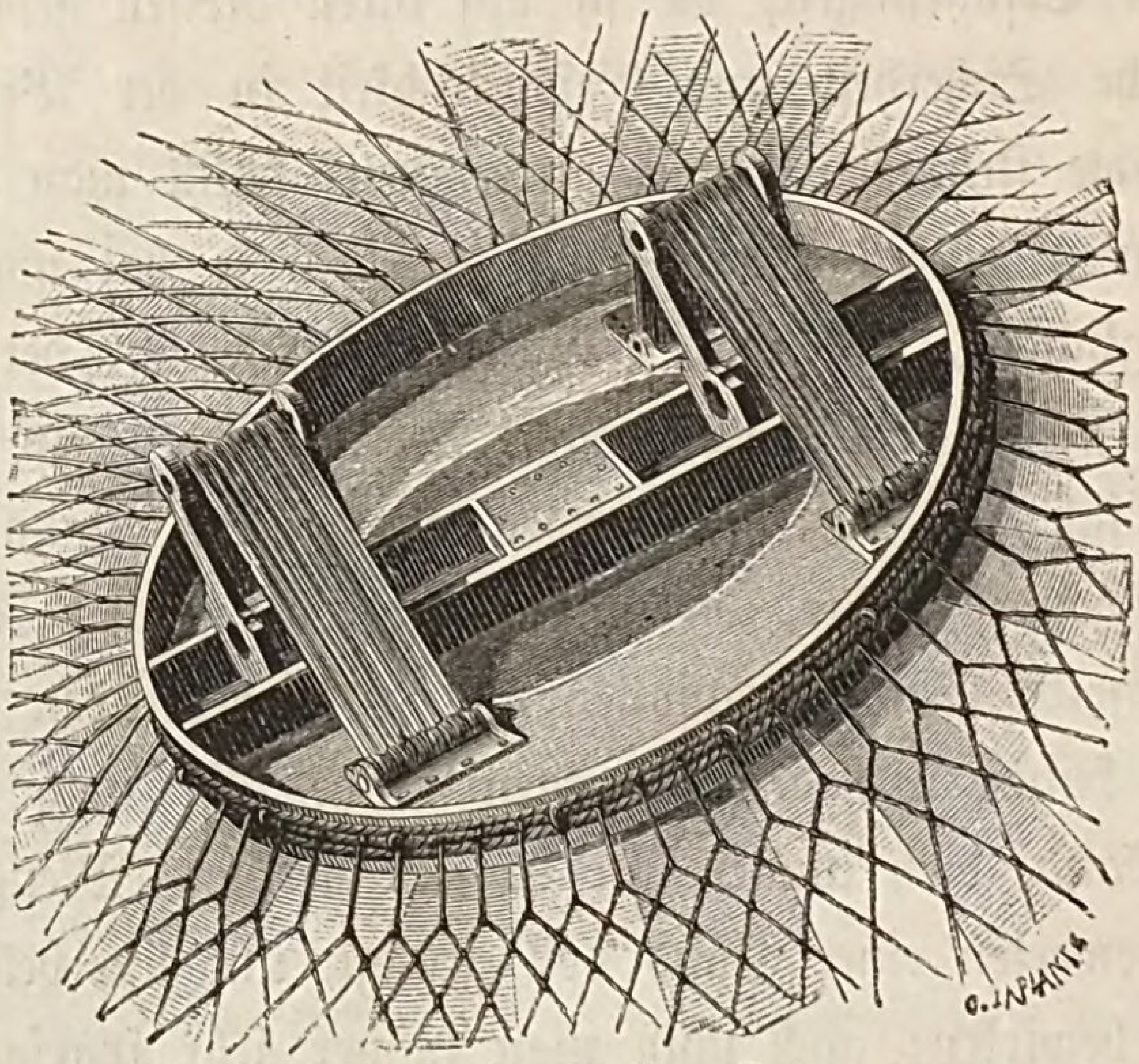


Fig. 59. Klappe des Ballon Entreprenant.

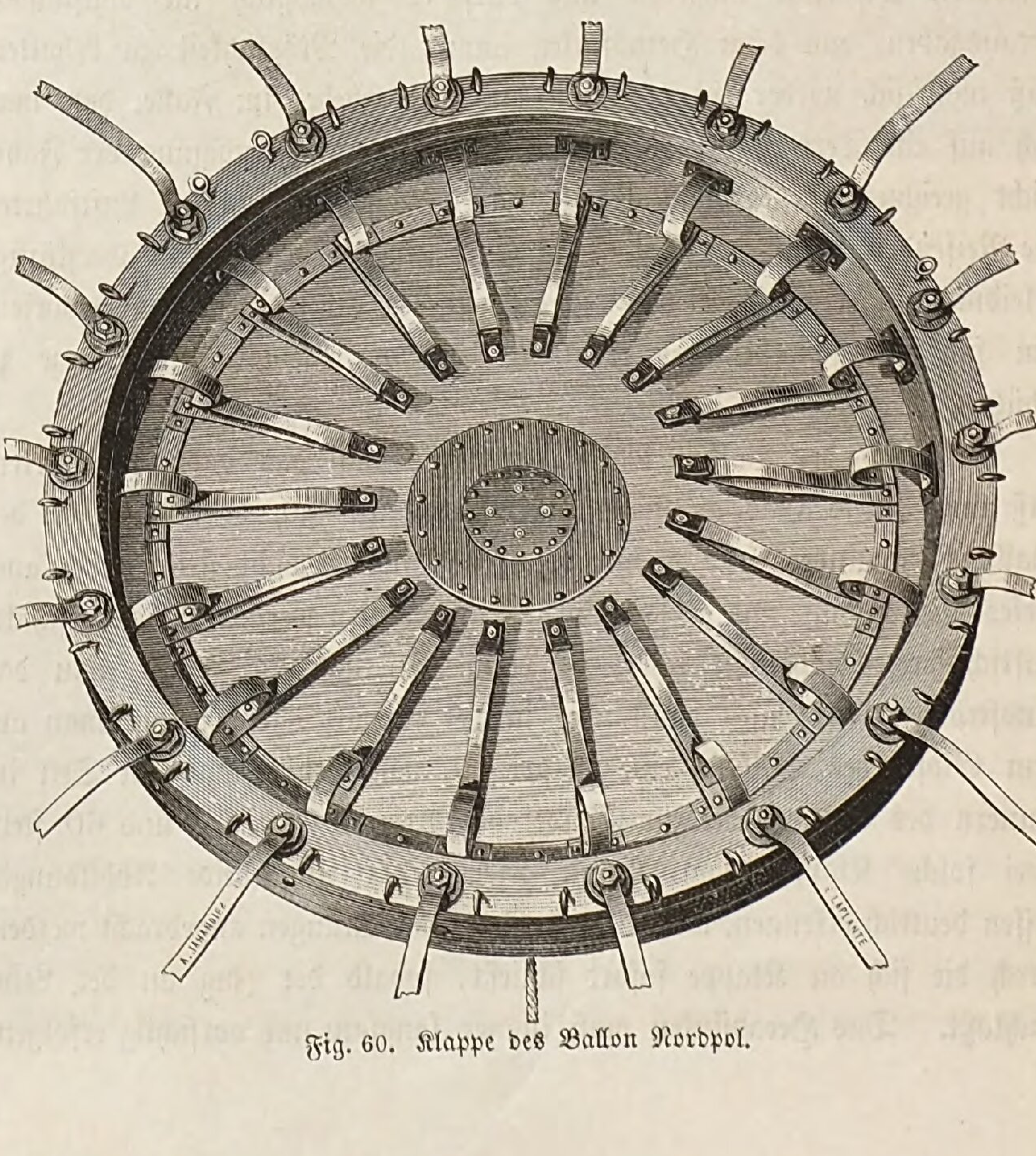


Fig. 60. Klappe des Ballon Nordpol.

schließlich der Aufstoß so heftig sein, daß die Menschen zerschmettert würden. Will man daher den Erdboden bald erreichen, so muß dies immer in einzelnen Absätzen geschehen, man sinkt um etwa 500 m, hebt sich dann durch Auswerfen von Ballast um 100 m, senkt sich wieder, und so fort, bis man sich dem Erdboden auf geringe Entfernung nähert. Nun wirft man das sogenannte Leitseil aus, ein Seil von ungefähr 50 m Länge, das an der Gondel befestigt ist und in dem eine Menge Knoten eingeknüpft sind. Sobald ein Stück dieses Seiles auf dem Boden aufliegt, wird die Last um soviel geringer, sodaß sich der Ballon immer noch schwebend erhält, bis noch ein wenig von seinem Gase entwichen ist; das Leitseil dient also gleichsam ebenfalls als Ballast, der aber nach Willkür immer wieder herbeigeholt werden kann. Endlich wirft man einen oder zwei Anker aus, durch die der Ballon am Boden befestigt wird.

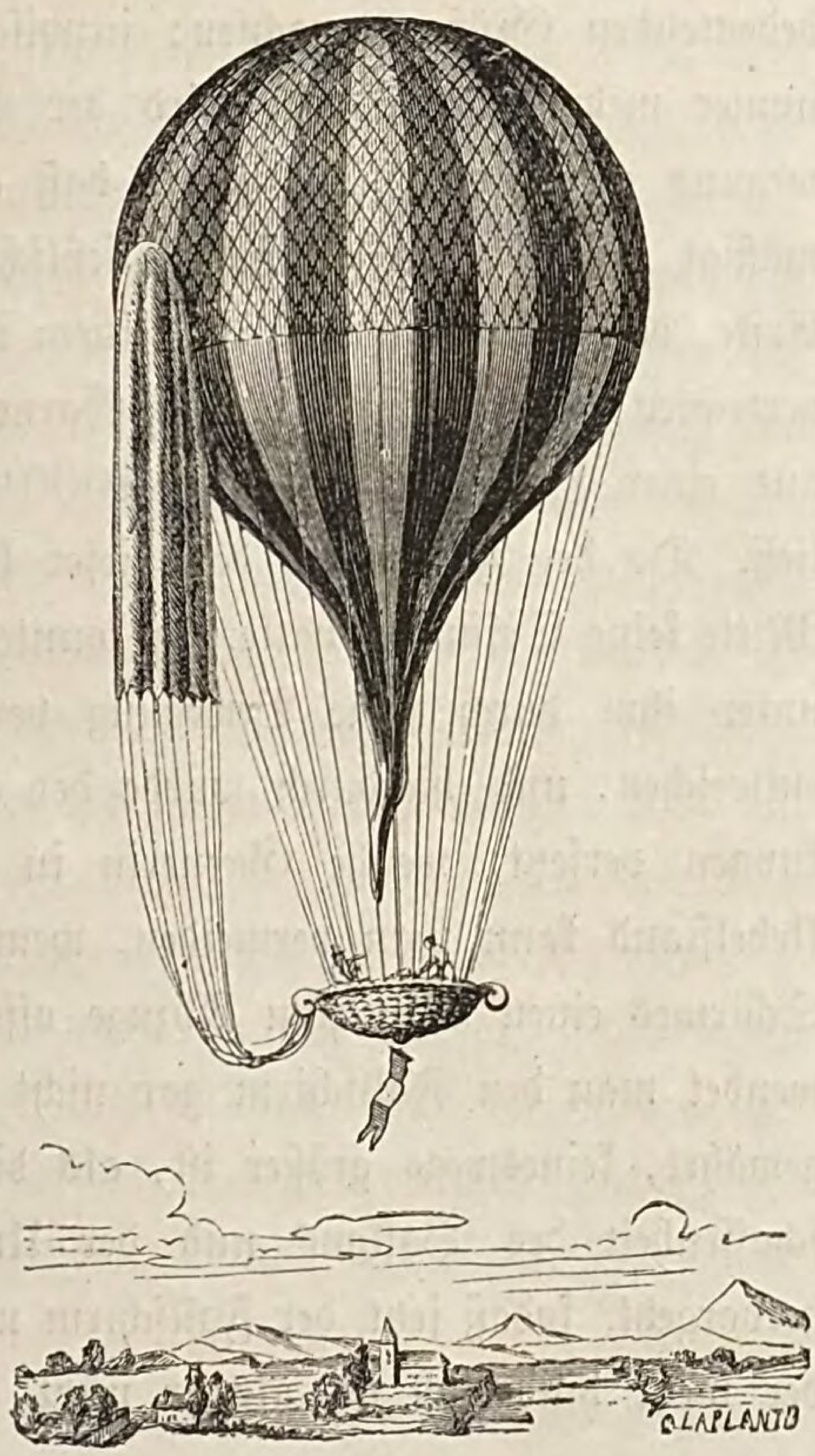


Fig. 61. Luftballon mit Fallschirm.

Bald nach der Erfindung der Luftballons richtete man sein Augenmerk darauf, ob sich nicht ein Mittel ausfindig machen ließe, durch welches die Menschen bei einem etwaigen Unglücksfalle, der den Ballon betrifft, vor dem jähen Herabsturze geschützt werden könnten, und man glaubte, daß gegen diese Gefahr ein Apparat, den man damals zuerst construirte und als Fallschirm (Fig. 61) bezeichnete, genügende Sicherheit gewähre. Das genannte Instrument besteht aus einer Art Kappe, welche aus einzelnen keilförmigen Stücken eines festen Zeuges zusammengesetzt ist; diese Stücke sind an ihren Rändern zusammengenäht und gleich den Feldern eines Regenschirmes zusammengefaltet, an ihrer unteren Kante aber tragen sie Seile, welche alle in einem gemein=

samen Knoten verschlungen sind. Man befestigt den Fallschirm an einem Faden, der ungefähr in der Mitte des Ballons durch das Netzwerk gezogen ist und bis in die Gondel hinabreicht, den Knoten aber zieht man bis dicht an die Gondel heran. Sollte nun der Luftschiffer durch irgend einen Unglücksfall, z. B. dadurch, daß die Hülle des Ballons stark zerrisse, genöthigt werden den Fallschirm zu benutzen, so wird er seinen Körper zunächst an den zum Knoten verschlungenen Seilen befestigen, dann den Faden, der den Fallschirm trägt, durchschneiden und nun die Gondel verlassen. In demselben Augenblicke aber wird auch die Fallbewegung beginnen und die Geschwindigkeit wird bald zu einer bedeutenden Größe anwachsen; inzwischen aber entfaltet sich der Schirm immer mehr und dadurch wird der Widerstand, den die Luft der Bewegung entgegensetzt, so groß, daß er die Fallgeschwindigkeit bedeutend mäßigt und der Schirm sich schließlich ganz sanft zur Erde senkt. Der Erste, der es gewagt hat, sich einem Apparate solcher Construction anzuvertrauen, war der Luftschiffer Garnerin, welcher sich im Jahre 1802 aus einer Höhe von ungefähr 1000^{m} mittels eines Fallschirmes herabließ. Da der Fallschirm, den dieser kühne Luftschiffer benutzte, in seiner Mitte keine Oeffnung hatte, so konnte die Luft, welche beim Herabfallen unter ihm durch seine Bewegung verdichtet wird, nur an den Seiten entweichen, und hierdurch wurde der ganze Apparat in heftige Schwankungen versetzt, welche Garnerin in ernstliche Gefahr brachten: diesen Uebelstand kann man vermeiden, wenn man der Luft in der Mitte des Schirmes einen Weg zum Abzuge offen läßt. In neueren Zeiten verwendet man den Fallschirm gar nicht mehr, indem die Sicherheit, die er gewährt, keineswegs größer ist, als diejenige, welche aus der guten Beschaffenheit des Ballons und der Umsicht des Leiters der Expedition hervorgeht, sodaß jetzt der Fallschirm nur ein unnützer Ballast sein würde, der mehr hinderlich ist, als er nützt.

§ 3. Anwendung des Luftballons in der Kriegskunst und zu wissenschaftlichen Untersuchungen.

Die Erfindung des Luftballons fällt in die Zeit, in welcher sich in Frankreich schon die gewaltige Umwälzung vorbereitete, durch welche nicht allein die staatliche Ordnung vollständig umgestoßen wurde, sondern auch alle gesellschaftlichen Verhältnisse sich von Grund aus umgestalteten; und

wie jedes Uebel, und mag es auch noch so groß sein, stets auch Gutes bringt, so hat auch jene Zeit der Schrecken wenigstens einen sehr großen Vortheil gebracht: in ihr und durch sie wurde den Naturwissenschaften in der ganzen Entwickelung aller gesellschaftlichen Verhältnisse ein viel höherer Platz eingeräumt, auf dem sie sich seither zu erhalten gewußt haben. Die französische Revolution war es, welche uns zu einem rationellen Maß- und Gewichtssystem verholfen hat, und die Leiter der Republik, wie auch ihr Erbe Napoleon verschmähten es nicht, die Fortschritte in den Naturwissenschaften dem allgemeinen Wohle dienstbar zu machen. Und so erkannte bereits im Jahre 1794 das Mitglied des Wohlfahrtsausschusses Carnot, ein sehr bedeutender Mathematiker, daß auch der Luftballon im Felde gute Dienste leisten könnte, und auf seine Veranlassung wurden dem Heere Compagnien von Luftschiffern beigegeben. Schon im Juni des genannten Jahres traten dieselben in der Schlacht bei Fleurus in Thätigkeit: sie stiegen in einem gefangenen Ballon auf und erspähten die Stellung der Oesterreicher, was zur Entscheidung des Kampfes wesentlich beigetragen hat. Wiederholt wurde nun in den Kriegen der Republik und Napoleons der gefangene Ballon zu gleichen Zwecken verwendet, und noch im Jahre 1814 bediente sich Carnot bei der Vertheidigung von Antwerpen dieses Hilfsmittels. Auch im Kriege zwischen den nördlichen und den südlichen Staaten von Nordamerika hat man den gefangenen Ballon verwendet, und zwar führte man eine Telegraphenleitung von der Gondel nach der Erde herab, sodaß die Beobachtungen sofort mitgetheilt werden konnten: in den letzten europäischen Kriegen dagegen hat man sich seiner nicht bedient, wohl wegen der ungeheuern Länge der Schlachtlinien, die sich aus der verhältnißmäßig geringen Höhe, bis zu welcher der gefangene Ballon aufsteigen kann, nicht übersehen lassen.

Eine andere Verwendung hat dagegen der Ballon in dem großen Kampfe gefunden, welcher das Verhältniß Deutschlands zu Frankreich hoffentlich für lange Zeit geregelt hat: als Paris auf allen Seiten von den deutschen Heeren umschlossen und dadurch von allem Verkehr mit dem übrigen Frankreich abgeschnitten war, da verfiel man auf das Hilfsmittel, daß man Depeschen, Briefe, ja sogar Personen, die mit militärischen oder politischen Sendungen betraut waren, aus der Stadt in Ballons beförderte, die man aufsteigen ließ, sobald die Windrichtung nach

Gegenden des Landes wies, welche von den deutschen Truppen nicht besetzt waren.

Vierundfünfzig Ballons mit 2½ Millionen Briefen sind während der Dauer der Belagerung von der Regierung der nationalen Vertheidigung aus Paris entsendet worden und haben die Kunde von dem Stande der Dinge und von den Hoffnungen, die man auf Entsatz durch die Heere Frankreichs setzte, hinausgetragen. An eine Rückkehr war freilich nicht zu denken, da man den Ballon jetzt noch vollständig der Willkür der Winde überlassen muß: und wenn man bei der Abreise von Paris sehr große Wahrscheinlichkeit für sich hatte, daß man glücklich in unbesetzte Theile des Landes oder zu den eigenen Truppen gelangte, so war umgekehrt keine Aussicht vorhanden, daß ein von Auswärts abgesendeter Ballon gerade in Paris niederfallen sollte. Doch auch nicht alle aus der belagerten Stadt abgelassenen Ballons kamen an ihr Ziel: mehrere fielen infolge einer unerwarteten Drehung der Windrichtung den deutschen Truppen in die Hände, zwei wurden sogar bis weit in das Innere von Deutschland, der eine bis nach Wetzlar, der andere bis in die Gegend von München getragen, und einer endlich, der Orleans, welcher den Luftschiffer Rolier und den Offizier Deschamps trug, wurde nach Norwegen verschlagen, wo sich seine Insassen wohlbehalten auf den festen Boden niederließen. Für den wirklichen Verkehr zwischen Paris und den Provinzen ließ sich damals nur ein einziges Mittel mit Erfolg anwenden, nämlich die Taubenpost: allein von diesem Verkehrswege können wir erst sprechen, wenn wir die mikroskopische Photographie behandeln werden.

Bei allen diesen Versuchen ist von Neuem wieder die Frage in den Vordergrund getreten, ob es doch schließlich nicht möglich sei, Vorrichtungen an dem Luftballon anzubringen, durch welche sich die Richtung seiner Bewegung bestimmen läßt: und wenn das Problem auch noch sehr weit von seiner Lösung entfernt ist, so hat man doch in letzter Zeit mehrere Versuche gemacht, die Beachtung verdienen, und von denen wir einige jetzt besprechen wollen. Zunächst aber wollen wir nicht unerwähnt lassen, daß die Schwierigkeiten allerdings so groß sind, daß manche Luftschiffer die Aufgabe überhaupt für nicht lösbar halten: denn welcher Art die Lenkvorrichtungen sein mögen, so werden sie die Last des Ballons auf alle Fälle bedeutend erhöhen; und wenn die Apparate mit Erfolg

gegen den Wind ankämpfen sollen, der auf die große Fläche des Ballons so mächtig einwirkt, so müssen sie durch eine ziemlich starke Kraft in Bewegung gesetzt werden: eine Dampfmaschine oder einen andern durch Hitze in Bewegung gesetzten Motor aber in die Luft mit hinauf zu nehmen, ist wegen der leichten Entzündlichkeit des Wasserstoffs oder Leuchtgases sehr gefährlich. Daher hat es auch in neuerer Zeit durchaus nicht an Versuchen gefehlt, das Aufsteigen in die Luft mit Hinweglassung jedes Ballons durch Instrumente, für welche der Flugapparat der Vögel als Muster gedient hat, zu bewirken; allein auch diese Versuche sind doch nur in außerordentlich beschränktem Maße gelungen, da es noch nicht möglich geworden ist, die Kraft, mit welcher sich die Flügel gegen die Luft stemmen, so weit zu steigern, daß das Gewicht des Apparates selbst und des Menschen, der sich mit ihm erheben will, auf eine auch nur mäßige Höhe hinaufgetragen werden könnte: die bisher zu diesem Zwecke construirten Instrumente haben schließlich nur dieselben Dienste gethan, wie die Fallschirme.

Wenn nun jene Bestrebungen, eine brauchbare Flugmaschine, welche nur durch den mechanischen Stoß und nicht infolge ihres geringen specifischen Gewichtes aufsteigt, zu construiren, noch zu keinem günstigen Resultate geführt haben, so läßt sich andererseits ein kleiner Fortschritt in der Handhabung der Ballons nicht verkennen; nur kann von einer eigentlichen Lenkbarkeit derselben noch nicht die Rede sein, sondern nur davon, daß es allmählich möglich geworden ist, seinen Curs in einer Richtung zu steuern, die ein wenig von der des Windes abweicht. Die ersten Versuche, die der Ingenieur Giffard zu Anfang des sechsten Jahrzehntes unseres Jahrhunderts anstellte, führten zwar zu keinem befriedigenden Resultate: als aber ungefähr zwanzig Jahre später Dupuy de Lôme die Untersuchungen Giffard's wieder aufnahm, so gelang es ihm doch, das Problem um einen kleinen Schritt vorwärts zu bringen.

Dupuy de Lôme construirte zu seinen Versuchen einen Ballon von länglicher Gestalt, damit derselbe in seinen verschiedenen Richtungen dem Winde verschiedenen Widerstand entgegenstelle; unter der Gondel aber brachte er eine Luftschraube an, d. h. eine Axe mit zwei oder vier Flügeln aus Taffet, welche wie die Flügel einer Windmühle schräg gestellt waren. Diese Schraube wurde mittels einer Haspel durch die Kraft einiger Männer, welche mit aufstiegen, in Bewegung gesetzt und

suchte den Ballon in der Richtung der Axe weiter zu treiben, so wie die Schiffsschraube, von der wir später sprechen werden, den Kiel des Schiffes weiter treibt. Der Ballon wurde mit gewöhnlichem Leuchtgase gefüllt und trug in seinem Innern einen zweiten Ballon, dessen Inhalt den zehnten Theil so groß war, als der des großen Ballons, und der sich durch einen in der Gondel aufgestellten Ventilator beliebig mit gewöhnlicher atmosphärischer Luft füllen ließ. Dieser kleine Ballon war dazu bestimmt, dem großen Ballon seine Gestalt und sein Volumen bei jedem Drucke zu erhalten: stieg man in höhere Luftschichten auf, wo der Druck geringer ist und das Gas sich auszudehnen strebt, so wurde der innere Ballon entleert, gelangte man in dichtere Schichten, so war der innere Ballon wieder anzufüllen. So war es möglich, daß man aus einer Höhe von 866^{m} herabsteigen konnte, ohne daß der Ballon seine äußere Form änderte, wenn sein Inhalt 3454 Kubikmeter, also der des inneren Ballon 345,4 Kubikmeter betrug. Endlich war noch unter der Gondel ein dreieckiges Segel aus Taffet angebracht, welches gleich einem Steuerruder die Richtung, in der sich der Ballon bewegen soll, bestimmt.

Die Versuche, welche man am 2. Februar 1872 mit diesem Apparate anstellte, scheinen ein leidlich befriedigendes Resultat ergeben zu haben: denn mit einer Kraft der Schraube, welche den Ballon in ruhender Luft in einer Stunde um $10\frac{1}{4}$ Kilometer weiter treiben würde, konnte man ihn um einen Winkel von 10—12° von der Richtung, die der Wind einschlägt, ablenken. Wenn dieses Resultat keineswegs ein so glänzendes ist, als Manche vielleicht geträumt haben, wenn damit auch noch lange nicht erreicht ist, was mancher Erfinder durch seine Apparate zu erreichen versprochen hat, so ist es doch als ein wirklicher Fortschritt zu begrüßen: man sieht, von welchem Punkt aus man das Problem anzufassen hat, und so steht zu hoffen, daß durch Anwendung der Erfahrungen, welche man in der Physik und Chemie stets von Neuem sammelt, auch diese Aufgabe eine immer bessere Lösung finden wird. Das nächste Streben müßte sich wohl darauf richten, daß man als Triebkraft einen anderen Motor, als die Menschenkraft einzuführen suchte: sollte es einmal gelingen, daß man die Dampfkraft zum Treiben der Luftschraube benutzen könnte, ohne daß eine Explosion des Gases zu befürchten sei, so würde man dadurch sehr viel gewonnen haben. Auf alle Fälle darf man eher hoffen, daß man mit der Zeit dem Luftballon eine größere Lenkbarkeit

ertheilt, als daß man eine Flugmaschine erfindet, mit der man sich ohne Ballon in die Luft erhebt.

Der größte Nutzen, den die Luftschifffahrten bis jetzt gewährt haben und auch in Zukunft gewähren werden, besteht darin, daß sie uns zu einiger Klarheit gelangen lassen über die Gesetze, die in unserer Atmosphäre herrschen und nach denen die Veränderungen in derselben erfolgen. Daher versehen sich alle die, welche nicht blos zu ihrem Vergnügen oder zur Belustigung der Menge aufsteigen, sondern auf ihrer Reise eine Ernte für die Wissenschaft halten wollen, mit einer ziemlichen Zahl von Instrumenten, deren Güte sie vorher sorgfältig prüfen und auf deren Gebrauch sie sich gut einüben: und so gleicht die Gondel bei einer Luftfahrt zu wissenschaftlichem Zwecke einem kleinen meteorologischen Laboratorium (Fig. 62). Sollte es einmal möglich werden, gefangene



Fig. 62. Glaisher's Gondel, mit Instrumenten ausgerüstet.

Ballons längere Zeit in derselben Höhe zu erhalten, so würde man in ihnen selbstregistrirende meteorologische Instrumente, wie wir sie im letzten Buche kennen lernen werden, aufstellen können und damit eine zusammenhängende Reihe von Beobachtungen erhalten, während man sich jetzt mit den vereinzelten Beobachtungen während einer Reise, die doch immer nur einen verhältnißmäßig kurzen Zeitraum umfaßt, begnügen muß: allein von der Ausführung dieses Gedankens ist man vor der Hand noch sehr weit entfernt.

Die Instrumente, welche bei keiner Luftreise fehlen dürfen, sind

Barometer, Thermometer und Hygrometer der verschiedensten Construction: denn nur mit Hilfe des zuerst genannten ist es möglich zu bestimmen, in welcher Höhe man sich befindet; die zuletzt erwähnten aber geben über die meteorologischen Verhältnisse Aufschluß und führen oft zu den merkwürdigsten Resultaten. So kamen z. B. im Jahre 1850 mitten im Sommer Barral und Bixio durch eine Wolkenschicht von 4 Kilometer Höhe, welche vollständig aus kleinen Eisnadeln bestand, und als sie weiter bis 7049 m Höhe aufgestiegen waren, fanden sie eine Temperatur von 39° C. unter Null, also eine Kälte, bei der das Quecksilber zu erstarren beginnt. Weiter erstrecken sich die Beobachtungen noch auf andere Vorgänge in der Luft, wie auf Wolkenbildung, Lichterscheinungen im Dunstkreise, elektrische Verhältnisse; auch die Intensität des Erdmagnetismus in einiger Entfernung von der Erdoberfläche ist wiederholt, zuerst durch Gay Lussac und Biot im Jahre 1804, gemessen worden, und bei einer zweiten Reise, welche der erstgenannte Naturforscher in demselben Jahre unternahm, gelangte er zu dem sehr wichtigen Resultate, daß die Luft in einer Höhe von ungefähr 7 Kilometer noch nach demselben Verhältnisse aus Sauerstoff und Stickstoff zusammengesetzt ist, wie an der Oberfläche der Erde.

Die im Interesse der Wissenschaft von Glaisher, Flammarion, Fonvielle und Tissandier unternommenen Luftreisen sind in einem sehr lesenswerthen Buche beschrieben, von welchem Masius eine deutsche Ausgabe*) veranstaltet hat: wir verweisen auf dasselbe, da wir hier nicht weiter auf diesen Gegenstand eingehen dürfen.

*) Leipzig, Friedrich Brandstetter.

Zweites Buch.
Der Schall.

Erstes Kapitel.
Fortleitung des Schalles.

§ 1. Akustische Signale für die Schifffahrt. Das Sprachrohr.

Schon in sehr frühen Zeiten ist man auf den Gedanken gekommen, mancherlei Schallerscheinungen, wie die menschliche Stimme, den Klang der Glocken oder anderer Instrumente zu benutzen, um auf größere Entfernungen hin Mittheilungen zu machen, oder wenigstens irgend welche Zeichen zu geben: und auch heute verschmäht man diese Mittel nicht, da die allerdings viel vollkommeneren Apparate, welche auf der Anwendung des Lichtstrahles oder gar des elektrischen Stromes beruhen, nicht überall und nicht unter allen Verhältnissen Dienste zu leisten vermögen. Denn für den elektrischen Strom müssen die Orte zuvor durch Leitungen mit einander verbunden werden: der Lichtstrahl aber versagt seinen Dienst, wenn dichter Nebel die Erde bedeckt, oder wenn der Sturm die Gewässer des Meeres aufwühlt. In allen diesen Fällen, wo die genannten Hilfsmittel nicht zur Verwendung kommen können, ist man schließlich einzig auf die Benutzung des Schalles angewiesen: dann lösen die Schiffe, die in Noth gerathen, ihre Kanonen, und auch vom Ufer aus sucht man ihnen durch ähnliche Signale die Nähe der Küste bemerklich zu machen. An manchen Hafenplätzen findet man auch Glocken aufgestellt, welche während des Nebels in regelmäßigen Absätzen geläutet werden und dadurch den einlaufenden Schiffen den Weg vorzeichnen, und

auch manche Leuchtthürme besitzen ähnliche Einrichtungen. Besonders in den Vereinigten Staaten Nordamerikas, an deren Küsten die Nebel sehr häufig und außerordentlich dicht sind, hat man bedeutende Kosten auf dergleichen Warnungssignale verwendet, und man findet dort Glocken von mehr als 10 Centner Gewicht, wie auch große Pfeifen, die sogenannten Nebelhörner, welche durch comprimirte Luft zum Tönen gebracht werden und in sehr großen Entfernungen hörbar sind. Im Fahrwasser der Stromengen in der Nähe von Felsen und Sandbänken verankert man wohl auch Bojen, auf welchen Glocken aufgestellt sind, die durch das Schwanken des Meeres zum Anschlagen gebracht werden und dadurch die Schiffer vor der Gefahr warnen.

Daß auch im alltäglichen Leben durch einen weithin hörbaren Schall irgend welche Nachricht verbreitet werden oder vor irgend einer Gefahr gewarnt werden kann, daß man z. B. von den Sternwarten zu Paris und Petersburg aus den Eintritt des Mittags durch einen Kanonenschuß anzeigt, daß schon von jeher der Ausbruch einer Feuersbrunst durch das Anschlagen der Sturmglocke verkündet wird, bedarf kaum der Erwähnung: nur darauf wollen wir aufmerksam machen, daß sich der Schall in allen diesen Fällen in der Luft nach allen Seiten hin ausbreitet, weil die Mittheilung, die durch ihn gemacht wird, auch nach allen Seiten hin verbreitet werden soll. Es kann nun aber in anderen Fällen wünschenswerth sein, daß ein Schall gerade nach einem bestimmten Punkte hingeleitet werde, ohne daß er dabei an Stärke viel verliere.

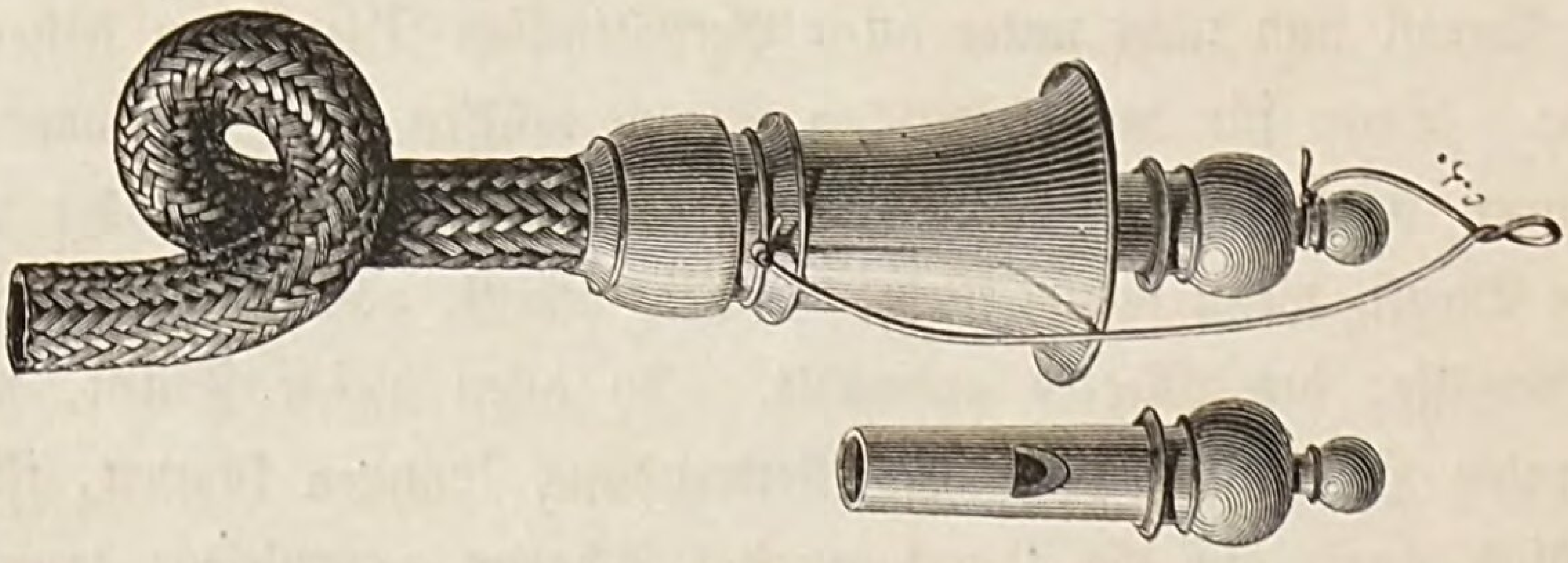


Fig. 63. Sprachrohr mit Signalpfeife.

Am einfachsten wird diese Aufgabe durch die sogenannten Sprachrohre (Fig. 63) gelöst, welche jetzt vielfach in Häusern, besonders in Fabriken, Magazinen und anderen Bauwerken angewandt werden, um die einzelnen Räumlichkeiten unter einander in Verbindung zu setzen:

wird in eine solche Röhre auf der einen Seite hinein gesprochen, so pflanzen sich die Schallschwingungen fast ohne Abnahme ihrer Stärke durch sie fort, weil der Querschnitt der Röhre überall derselbe ist und mithin die lebendige Kraft nirgends auf eine größere Luftmenge übertragen werden muß; nur durch die Reibung an den Wänden geht etwas von der Kraft verloren. Besonders wichtig ist die Anwendung dieser Sprachrohre auf Schiffen, wo durch dieselben Befehle dem Mastwächter im Mastkorbe, sowie den Maschinisten und Heizern der Dampfmaschine übermittelt werden: in diesem Falle benutzt man gewöhnlich lange biegsame Kautschukrohre, welche beiderseits mit trichterförmigen Mundstücken aus Knochen oder Elfenbein versehen sind, in deren Höhlung eine kleine Pfeife eingeschoben ist (Fig. 63). Will man durch dieses Rohr eine Mittheilung machen, so läßt man zunächst durch die Pfeife vor dem Mundstücke einen schrillen Ton entstehen, welcher von der Person, mit welcher man sprechen will, in gleicher Weise beantwortet wird, und spricht hierauf in das Mundstück mit mäßig starker Stimme, während derjenige, dem die Mittheilung gemacht werden soll, sein Ohr fest an das Mundstück am anderen Ende legt. Ein übermäßig lautes Sprechen würde hierbei von keinem Nutzen sein, sondern nur die Töne in Verwirrung bringen.

In welcher Weise man in neuerer Zeit die Uebertragung des Schalles auf meilenweite Entfernungen durch Vermittelung von magneto-elektrischen Strömen möglich gemacht hat, werden wir im letzten Buche besprechen.

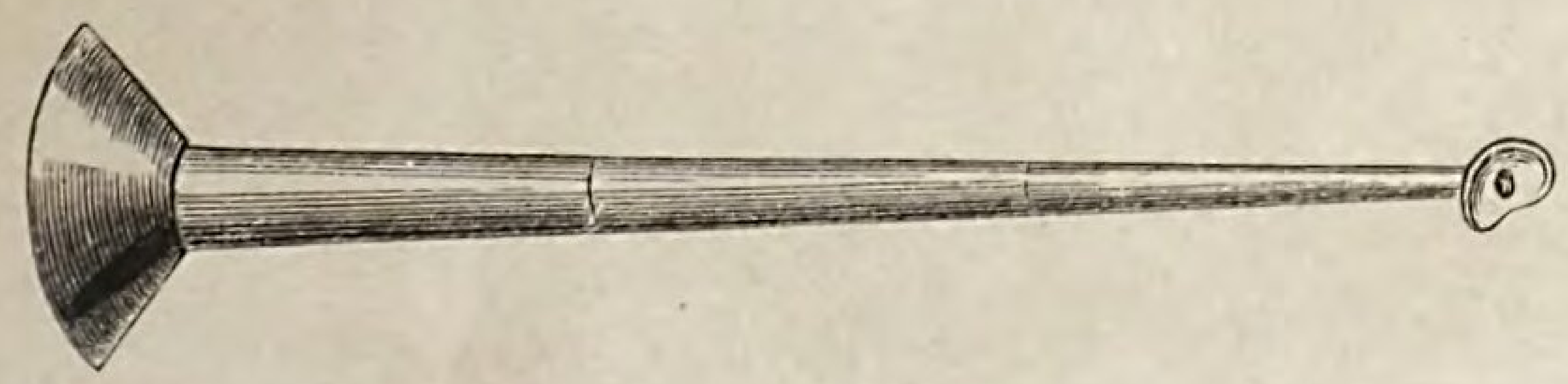


Fig. 64. Sprachrohr.

Viel früher, als diese Röhrenleitungen, war aber schon das Sprachrohr im engeren Sinne des Wortes (Fig. 64) im Gebrauch, und noch jetzt verwendet man dasselbe besonders auf Schiffen, wenn man sich aus einiger Entfernung mit Personen, die sich auf einem anderen Schiffe oder am Ufer befinden, verständigen will. Dieses Sprachrohr besteht aus einer Metallröhre, welche sich nach der einen Seite hin ein wenig erweitert und an ihrem engeren Ende mit einem Mundstücke versehen ist von solcher Weite, daß die Lippen beim Sprechen in ihrer Bewegung

nicht gehindert werden; am entgegengesetzten Ende aber ist noch ein etwas weiterer Schalltrichter angesetzt, welchen man nach dem Punkte hin richtet, an welchem die Mittheilung vernommen werden soll.

Die Anwendung dieses Instrumentes reicht möglicherweise sehr weit zurück; wenigstens bemerkt Kircher, daß bereits das Heer Alexanders des Großen ein ungeheures Sprachrohr mit sich geführt habe, durch welches



Fig. 65. Handhabung des Sprachrohres.

Soldaten, die sich vom Heere entfernt hatten, aus bedeutender Entfernung herbei gerufen werden konnten: in seiner jetzigen Gestalt ist das Sprachrohr wohl um das Jahr 1670 durch Samuel Moreland erfunden worden.

Die Wirkung des Sprachrohres beruht hauptsächlich darauf, daß alle Schallwellen, welche vom Munde ausgehen und gegen die Wand des Rohres stoßen, von demselben so zurückgeworfen werden, daß sie in einer

der Axe des Rohres nahezu parallelen Richtung weitergehen. In welcher Weise hierbei der angesetzte weitere Schalltrichter wirkt, ist noch nicht recht klar, doch haben Versuche ergeben, daß das Sprachrohr mit Schalltrichter die Töne in ungefähr doppelt so großer Entfernung vernehmen läßt, als wenn der Schalltrichter entfernt worden ist. Am vollständigsten wird der Parallelismus der Schallwellen, wenn man dem Rohre eine Gestalt giebt, die Lambert vorgeschlagen hat. Das von dem genannten Mathematiker empfohlene Rohr besteht aus zwei Abtheilungen, welche mit einander in Verbindung stehen, und von denen die eine, in die man hinein spricht, elliptisch, die andere parabolisch ist. Zur Anwendung ist dieses Rohr wenig gekommen, weil seine Anfertigung Schwierigkeiten macht und weil die Rohre von gewöhnlicher Construction den Zweck hinreichend erfüllen. Auf das Material, aus dem das Rohr besteht, scheint wenig anzukommen, sodaß man zur Anfertigung Metallblech, Pappe oder Glas verwendet: ja man hat sogar die Wände des Rohres mit Wollenstoff überzogen, ohne daß dadurch die Wirkung beeinträchtigt worden wäre.

Die Sprachrohre, welche auf den Schiffen gebraucht werden (Fig. 65), sind gewöhnlich bis gegen 2 ^{m} lang, und die vordere Oeffnung des Schalltrichters hat eine Weite von ungefähr 30 $^{cm.}$ In England hat man Sprachrohre von 7 ^{m} Länge angefertigt, welche das Wort auf eine Entfernung von nahezu 4 ^{km} forttragen; der Schall der Stimme, ohne daß man das Wort verstehen kann, ist bei einem guten Sprachrohre auf 5 bis 6 ^{km} Entfernung vernehmbar.

§ 2. Hörrohr und Stethoskop.

Wenn das Sprachrohr die Bestimmung hat, unsere Worte fernstehenden Personen vernehmbar zu machen, so soll umgekehrt das Hörrohr unsere Rede denen verdeutlichen, welche an Schwerhörigkeit leiden, indem es die Schallwellen nicht allein fortleitet, sondern dieselben zwingt einen Kanal zu durchdringen, welcher immer enger wird, wodurch sich die Intensität der Wellen immer vergrößert.

Man hat den Hörrohren sehr verschiedene Formen gegeben (Fig. 66), je nachdem man die eine oder andere Gestalt für vortheilhaft hielt: aber immer endigen dieselben einerseits in einem dünneren Röhrchen, welches

der Schwerhörige in seinen Gehörgang einführt, andererseits in einem weiteren Schalltrichter, den er dem Sprechenden zuwendet. Wie beim Sprachrohre scheint auch hier der Stoff, aus dem das Instrument verfertigt ist, nicht von besonderem Einflusse zu sein: die Wirkung wird eben nur dadurch hervorgebracht, daß die Schallwellen an den Wänden immer wieder zurückgeworfen werden und dabei in Theile gelangen, deren Querschnitt immer kleiner wird, sodaß sie schließlich mit um so größerer Energie gegen das Trommelfell des Schwerhörigen stoßen. Man kann diesen Vorgang mit dem Ausfließen eines Wasserstrahles aus einem Trichter vergleichen, an dessen unterer Oeffnung die Geschwindigkeit eben-

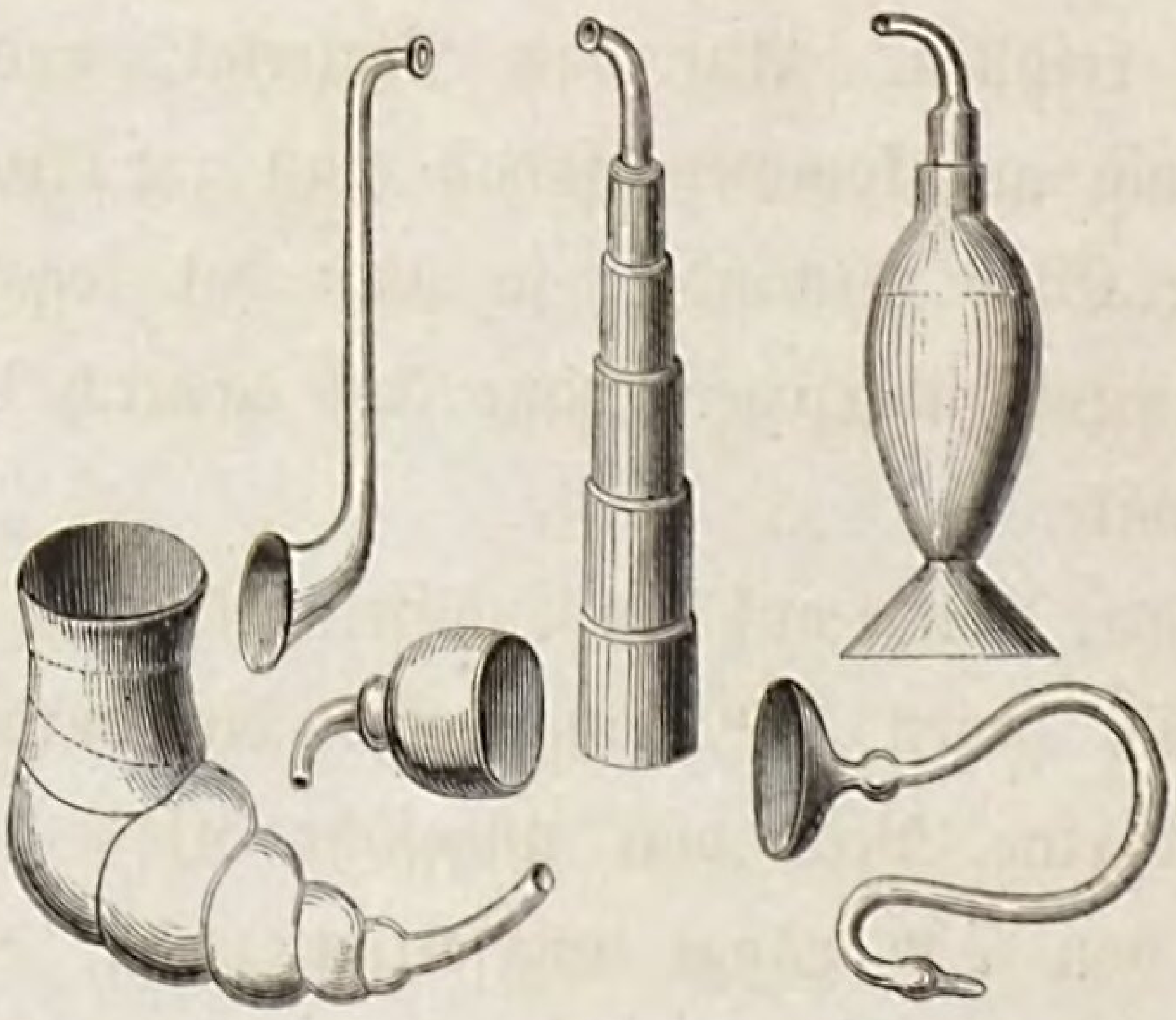


Fig. 66. Hörrohre verschiedener Construction.

falls bei Weitem größer ist, als die Geschwindigkeit, mit der sich das Wasser im oberen Theile bewegt.

Sehr bedeutende Fortschritte hat die Heilkunde seit der Zeit gemacht, daß in ihr bei den Untersuchungen ebenfalls ein Hörrohr angewendet wird: wir finden jetzt in den Händen jedes Arztes ein kleines Rohr, das Stethoskop, welches einerseits sich erweitert, andererseits in einer Platte zum Anlegen des Ohres endigt. Durch dieses Rohr lassen sich die verschiedenen Thätigkeiten im Innern des Körpers durch das schwache Geräusch, das sie verursachen, der Beobachtung unterwerfen: es läßt sich wahrnehmen, ob die Lunge in allen ihren Theilen kräftig athmet oder ob sie durch irgend welche Ursache theilweise lahm gelegt ist, ob das Herz in richtiger Weise schlägt, und ähnliches mehr. Für sehr feine Untersuchungen wendet König ein Stethoskop von folgender verbesserter

Form an: in der Oeffnung einer kleinen halbkugelförmigen Kapsel ist ein Metallring befestigt, welcher beiderseits mit dünnen Häuten aus Kautschuk überspannt ist; durch eine Durchbohrung dieses Ringes wird Luft in denselben eingeblasen, welche die beiden Häute so ausspannt, daß sie die Form einer Linse annehmen. Aus der Kapsel aber führt ein dünnes Rohr heraus, an welchem ein Kautschukschlauch befestigt wird, den man direct in das Ohr des Beobachters leitet. Wenn man bei der Beobachtung die äußere gespannte Haut auf den Körper, den man der Untersuchung unterwerfen will, legt, so wird sie sich an denselben eng anschließen und an allen Schwingungen, welche er ausführt, selbst theilnehmen; diese Schwingungen werden dann durch Vermittelung der eingesperrten Luft auf die zweite Haut und von dieser auf die Luft in der Kapsel und in dem Hörrohre übertragen. Man kann gleichzeitig bis zu 5 Röhren an der Kapsel befestigen, ohne daß dabei die Genauigkeit der Beobachtungen leidet, und es werden dann gleichzeitig fünf Personen dasselbe Geräusch vernehmen können.

§ 3. Die Akustik in der Baukunst.

Eine der wichtigsten Anwendungen, welche man von der Lehre vom Schalle oder der Akustik machen kann und immer machen sollte, besteht in der Berücksichtigung ihrer Gesetze bei der Errichtung von Bauwerken, in denen Versammlungen stattfinden sollen, bei welchen eine größere Anzahl von Menschen irgend etwas anhören wollen. Wenn man nun gar nicht selten findet, daß viele dieser Gebäude den genannten Zweck keineswegs genügend erfüllen, so wird man in sehr vielen Fällen den Grund darin zu suchen haben, daß sich die Baumeister, welche sie errichtet haben, nicht überwinden konnten, etwas von der künstlerischen Schönheit den Forderungen der Wissenschaft zu opfern; vielleicht ist auch bisweilen ein Mangel an speciellen Kenntnissen in diesem Gebiete der Physik die Ursache zu den Mißerfolgen gewesen.

Man kann die Gebäude, die für die Vereinigung vieler Menschen errichtet werden, in drei Classen theilen nach dem speciellen Zwecke, den man erreichen will: erstens kann es darauf ankommen, daß hauptsächlich mehrstimmige Musik gehört werde, ohne daß das Auge besondere Berücksichtigung verlangt, wie in den Concertsälen; zweitens kann neben

der mehrstimmigen Musik auch der Einzelgesang oder das gesprochene Wort in den Vordergrund treten, und zugleich kann es dann nöthig werden, daß auch das Auge den Schauplatz vollständig übersieht, wie in den Theatern; und drittens kann die Aufgabe zu lösen sein, daß die Worte eines einzelnen Redners, der sich an einem bestimmten Platze befindet, überall klar vernommen werden, wie in den Häusern, in denen Berathungen über wissenschafliche oder politische Gegenstände gepflogen werden sollen, und in den Kirchen.

In den Concertsälen ist die Stelle, an welcher das Orchester und die Sänger sich aufstellen, der Herd, von welchem die Schallwellen ausgehen; dieselben müssen sich so ausbreiten und von den Wänden in solcher Weise zurückgeworfen werden, daß sie das Ohr jedes einzelnen Zuhörers unter möglichst günstigen Bedingungen treffen, derselbe mag sich befinden, wo er will, sodaß jeder Hörer die feinsten Abstufungen der Melodie genau verfolgen kann und doch zugleich immer die Harmonie in ihrer Gesammtheit erfaßt. Auf das Auge braucht hierbei weniger Rücksicht genommen zu werden, da es sich nicht um ein Schauspiel im eigentlichen Sinne handelt, sondern darauf ankommt, daß Musikstücke zu möglichst klarer Darstellung gelangen. Als Muster eines Concertsaales von freilich etwas kleineren Dimensionen, der aber alle Forderungen der Akustik im höchsten Grade erfüllt, kann der Saal des Gewandhauses in Leipzig gelten, und auch diesem Umstande ist es mit zu verdanken, daß sich die in ihm abgehaltenen Concerte eines Rufes erfreuen, der die Grenzen Deutschlands, ja Europas weit überschreitet. Von größeren Sälen wird besonders der des Conservatoriums in Paris von Künstlern und Kunstverständigen wegen seiner Akustik gerühmt.

Aber noch weit schwieriger gestaltet sich die Aufgabe bei der Einrichtung der Theater, besonders wenn dieselben zugleich dem Drama und der Oper dienen sollen: denn abgesehen davon, daß das Publikum alles, was auf der Bühne von den verschiedensten Stellen aus gesungen oder gesprochen, und alles, was im Orchester gespielt wird, an allen Plätzen deutlich hören soll, so kommt dazu noch die weitere Forderung, daß auch alles, was auf der Bühne vorgeht, zugleich von den Zuschauern gesehen wird. Nur für das Orchester findet die letzte Bedingung nicht statt, und theils aus diesem Grunde, theils aber auch um zu verhüten, daß die Stimme der Sänger durch den Klang der Instrumente zu sehr gedeckt

wird, hat Richard Wagner in Bayreuth das Orchester tiefer legen und vor den Augen des Publikums verdecken lassen. Ob diese Einrichtung, die auch anderwärts nachgeahmt worden ist und der entschieden ein richtiger Gedanke zu Grunde liegt, sich auf die Dauer bewährt, oder ob doch vielleicht mancherlei praktische Unzuträglichkeiten sich herausstellen: ob besonders der Umstand, daß dabei Sänger und Instrumentalisten nicht mehr in voller Fühlung mit einander bleiben, nicht zu bedeutende Schwierigkeiten bereitet, darüber kann erst die Erfahrung entscheiden. Auf alle Fälle aber ist es nicht möglich Häuser herzustellen, welche sich gleich gut für die große, wie für die lyrische Oper, für die Tragödie, wie für das Conversationsstück oder kleine Lustspiel eignen: und wenn auf derselben Bühne den einen Tag die Walküre und den nächsten das Glas Wasser aufgeführt wird, so muß dies nicht blos beim Aesthetiker, sondern auch beim Physiker ein leises Kopfschütteln hervorrufen.

Einfacher gestalten sich hinwieder die Verhältnisse da, wo es gilt, daß nur der einzelne Redner vernommen werde, denn in diesem Falle kommt es nur darauf an, daß eine einfache Tonfolge in voller Klarheit und nicht durch Wiederhall getrübt in das Ohr des Hörers dringt. Daher findet man Säle, in denen Reden gut verstanden werden, nicht so selten, vorausgesetzt nur, daß der Redner mit genügend starkem Organe ausgerüstet ist und es versteht, die Worte gut artikulirt auszusprechen. Dagegen findet man vielfach Kirchen, in denen das Sprechen mit einigen Schwierigkeiten verbunden ist, sodaß der Redner an vielen Plätzen gar nicht verstanden wird oder daß die Worte durch den Nachhall in Verwirrung gerathen. Im katholischen Ritus ist dieser Nachtheil nicht so empfindlich, da in ihm der Hauptnachdruck auf dem Altardienste, der Messe, liegt: im protestantischen Ritus dagegen, in dem das Hauptgewicht auf die Predigt gelegt wird, macht er sich sehr bemerklich; und da in protestantischen Ländern die älteren Kirchen alle aus der katholischen Zeit stammen, die neueren aber vielfach nach dem Muster der älteren erbaut wurden, so haben die Sprecher vielfach mit diesem Uebel zu kämpfen.

Wenn man mit der Zeit erst einmal genau untersucht haben wird, worin die akustischen Fehler, an denen die einmal errichteten Gebäude leiden, ihren Grund haben, so wird es wohl auch gelingen, mit Bezugnahme auf die Gesetze, welche die Physik für die Ausbreitung und Zu-

rückwerfung des Schalles aufgefunden hat, dieselben je mehr und mehr zu vermeiden. Zunächst hat man seine Aufmerksamkeit auf die Gestalt der Mauern und Wände zu richten, welche oft derart ist, daß sie die Schallwellen nicht in der rechten Weise zurückwirft. Eine andere Ursache, daß der Schall nicht mit genügender Deutlichkeit gehört wird, kann in der Weite der Räumlichkeiten liegen, besonders wenn Gelegenheit geboten ist, daß sich die Schallwellen in Nebenräumen verlieren. Daher darf die Decke des Gebäudes sich nicht in gar zu bedeutender Höhe befinden, auf dem Theater darf man die Bühne nicht zu übermäßig weit nach hinten ausdehnen, auch muß man das Einbauen von Logen, die eine größere Tiefe besitzen und in ihrem Inneren vielleicht noch mit Stoffen ausgekleidet sind, welche den Schall dämpfen, möglichst vermeiden.

Wenn dagegen ein Gebäude so eingerichtet ist, daß die Schallwellen, welche von den Wänden zurückgeworfen werden, sich in verschiedenen Kreuzungspunkten vereinigen, oder wenn die Wände aus solchen Stoffen bestehen, welche den Schall gar zu heftig zurückwerfen, so zeigt sich der entgegengesetzte Fehler: in solchen Räumen hallt es zu stark und ungleichmäßig, sodaß der Hörer gleichzeitig die Töne, welche sich neubilden, und auch zugleich noch den Nachhall der zuvor gebildeten Töne hört: dadurch entsteht bei den Reden eine Verwirrung der Worte, bei musikalischen Aufführungen dagegen erscheinen die häßlichsten Dissonanzen. Diese Fehler treten ziemlich häufig in kirchlichen Bauwerken auf, in welchen der Schall von allen einzelnen Säulen, die die Wölbung tragen, in den verschiedensten Richtungen zurückgeworfen wird oder sich auch in den Kapellen, welche wir so oft eingebaut finden, verfängt.

Durch welche Mittel sich diese Uebelstände beseitigen lassen, darüber wird man wohl kaum allgemeine Grundsätze aufstellen können, wenigstens vor der Hand wird man sich darauf beschränken müssen, daß man jeden einzelnen Fall für sich allein behandelt und in ihm die Gesetze der Akustik mit den Vorschriften der Architektur in Einklang zu bringen sucht. Nur einige kurze Bemerkungen wollen wir über diesen Gegenstand jetzt noch hinzufügen, welche wir einem Werke des Architekten Lachez, das die Gesetze des Schalles und des Lichtes in ihrer Anwendung auf öffentliche Versammlungen behandelt, entlehnen.

„Mag ein Musikstück in einem unbegrenzten oder in einem von allen

Seiten geschlossenen Raume ausgeführt werden, so ist es recht gut möglich, daß die Zuhörerschaft von den Musikern gar nichts sieht, daß sie vollständig alle Töne vernimmt, ohne die Instrumente zu erblicken, durch welche sie hervorgebracht werden. Daher ist die hauptsächlichste, ja man kann sagen einzige Aufgabe, die man zu erfüllen hat, daß man die Stelle, von welcher die Töne ausgehen, an den Ort verlegt, welcher dafür am geeignetsten ist, d. h. von welchem aus die Klänge am vollsten, klarsten und reinsten in das Ohr der Hörer dringen.

„Befindet sich ein Orchester im Freien, so ist es am Besten, wenn das Publikum rings um dasselbe Platz ergreift, damit es sich in dem Bezirke befinde, in welchem sich die Schallwellen naturgemäß ausbreiten; das Orchester muß auf einem erhöhten Podium errichtet sein, damit sich der Schwingungsmittelpunkt, von dem die Wellenbewegung ausgeht, oberhalb der Luftmasse befinde, welche vom Publikum eingenommen wird, und in welcher die Töne in ihrer Ausbreitung vielfach auf Hindernisse stoßen würden."

Der Verfasser macht weiter darauf aufmerksam, daß es keinen Vortheil gewähren würde, wenn man die Decke eines Concertsaales in Form einer Parabel wölben oder der Wand die Gestalt eines Kreises oder eines regelmäßigen Viereckes geben wollte, ausgenommen wenn der Abstand des Heerdes der Töne von der Wand so gering ist, daß keine störende Resonanz entstehen kann. Auch für einen amphitheatralisch abgeschlossenen Raum würde sich dieselbe Anordnung empfehlen, wenn es sich nur um die Aufstellung eines Orchesters handelt; sobald aber Gesang hinzutritt, so wird man das eine Ende als Aufstellungsplatz zu wählen gezwungen sein, weil die Sänger nothwendig mit dem Gesichte dem ganzen Publikum zugewendet sein müssen. Die Wände eines Concertsaales müssen glatte Oberflächen bieten und aus einem Material verfertigt sein, welches eine gewisse Widerstandskraft besitzt; aller architektonischer Schmuck, bei welchem einzelne Theile stark vorspringen oder zurücktreten, ist zu vermeiden und Vorhänge nur da anzubringen, wo es gilt, den übermäßigen Nachhall zu dämpfen.

„Soll das Wort eines einzelnen Redners vernommen werden, so ist es, wenn nicht nothwendig, so doch höchst wünschenswerth, daß die Versammlung in einem Raume abgehalten werde, welcher von festen Mauern umgeben ist; je nach der Ausdehnung dieses Raumes wird das ge-

sprochene Wort einer größeren oder geringeren Zahl von Personen verständlich werden. Der geschlossene Raum gewährt nicht allein den Vortheil, daß er vor jedem Geräusche, vor jedem fremden Tone und vor den Unbilden der Witterung schützt, sondern er liefert auch Mittel, durch welche die Stärke der Stimme erhöht werden kann, durch welche aber andererseits auch die Resonanz, die durch die Zurückwerfung der Schallwellen zu Stande kommt, vollständig zerstört wird: die Ausdehnung des Raumes ist maßgebend für die akustischen Hilfsmittel, welche in den einzelnen Fällen zur Anwendung kommen müssen."

Bei der Einrichtung eines Saales, der für das Hören geeignet sein soll, ist auch auf die Anordnung der Plätze für das Publikum besonders zu achten; im Allgemeinen empfiehlt es sich, daß die Plätze stufenförmig aufsteigen und Kreisbogen bilden, welche dem Orchester oder der Rednerbühne zugewendet sind, sodaß man an jedem Platze frei nach dem Heerde des Schalles sehen oder wenigstens von dort aus die Schallwellen in sein Ohr aufnehmen kann; nur ist es empfehlenswerth, wenn sich die Sitzreihen ganz allmählich über die Horizontalebene erheben, von welcher die Schallwellen ausgehen.

Zweites Kapitel.

Die musikalischen Instrumente. — Einfache Instrumente.

Es würde gewiß eine sehr dankbare, zugleich aber auch sehr schwierige Aufgabe sein, welche die feinsten Beobachtungen erfordert, wenn man im Einzelnen untersuchen wollte, auf welche Weise die Gesetze der Akustik bei den verschiedenen Instrumenten zur Anwendung kommen, deren sich die Musiker bei der Ausübung ihrer Kunst bedienen und von jeher bedient haben. Zu allen Zeiten, so weit die geschichtlichen Erinnerungen zurückreichen, und bei allen Völkern, selbst bei denen, die den Sitzen der Cultur am weitesten entrückt sind, finden wir derartige Instrumente im Gebrauche, und in immer größerer Vollendung sehen wir dieselben sich weiter entwickeln, von den rohen Formen, die ihnen bei den ersten plumpen Versuchen von den barbarischen Völkerschaften ertheilt wurden, bis zu der Vollkommenheit der besten Instrumente, die wir heute benutzen, der vorzüglichen Flügel, die jetzt an vielen Orten

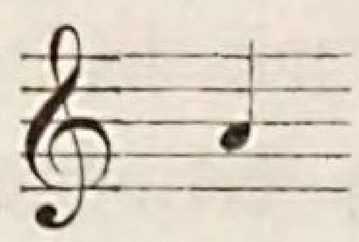
gebaut werden, der Cremoneser Geigen*), und besonders des gewaltigsten unter allen musikalischen Instrumenten, der Orgel: und namentlich bei den letztgenannten ist recht deutlich zu erkennen, wie die Fortschritte der Wissenschaft auch zu dem Dienste der Kunst herangezogen worden sind. In sehr vielen Punkten ist allerdings die Theorie der musikalischen Instrumente noch außerordentlich unklar, und weder die geschicktesten Verfertiger derselben, noch die Physiker können in vielen Fällen Aufschluß geben, warum gerade bestimmte Formen, auf welche die Erfahrung geführt hat, die geeignetsten sind; gleichwohl hat man eine Anzahl von Grundsätzen aufstellen können, auf welche sich die Anfertigung der Musikinstrumente gründet, und es ist von hohem Interesse zu sehen, in welcher Beziehung diese Grundsätze zu den Gesetzen stehen, welche die Akustik für die Schallschwingungen bei Glocken, Saiten, Röhren und gespannten Membranen gefunden hat.

Aus diesem Gesichtspunkte wollen wir jetzt die Grundtypen der musikalischen Instrumente der Reihe nach betrachten und dieselben je nach der verschiedenen Art, wie bei ihnen die Schallschwingungen hervorgerufen werden, in folgende Classen eintheilen: 1. einfache Instrumente, welche in der Regel nur einen Ton geben, wie Glocken, Triangel, Trommel u. s. w.: dieselben beruhen auf den Schwingungen von festen Rotationskörpern, von Platten und Stäben, oder von gespannten Häuten; 2. Saiteninstrumente, deren außerordentlich große Zahl wieder in drei Hauptgruppen, nämlich Streichinstrumente, harfenartige Instrumente und Claviere zerfällt; und 3. Blasinstrumente, die sich wieder in solche mit Flötenansatz, solche mit Trompetenansatz und solche mit schwingenden Zungen theilen lassen; alle die Formen der Blasinstrumente aber vereinigen sich in der Orgel, diesem großartigen Instrumente, welches für sich allein schon die Stelle eines vollen Orchesters vertritt.

---

*) In der Stadt Cremona in der Lombardei wurden zuerst vom sechzehnten Jahrhundert an bis Mitte des siebzehnten Jahrhunderts Geigen von solcher Güte verfertigt, daß dieselben noch jetzt im höchsten Grade geschätzt sind und mit sehr hohen Preisen bezahlt werden: die berühmtesten Verfertiger derselben waren zuerst zwei Brüder Amati, dann die beiden Söhne des einen, hierauf deren Schüler Stradivari, und endlich, ungefähr gleichzeitig mit dem zuletzt genannten, vier Mitglieder der Familie Guarneri.

§ 1. Schwingende Stäbe und Platten.

Metallische Stäbe und Platten von verschiedener Form gerathen in Schwingungen, wenn man sie nach ihrer Längsrichtung oder quer herüber streicht, oder auch, wenn man ihnen einen kurzen, elastischen Schlag ertheilt, und geben dann Töne, von denen einige auch in der Musik Anwendung finden. Vor allen Dingen ist hier das kleine Instrument zu erwähnen, durch dessen Vermittelung immer wieder bei der Aufführung eines Musikstückes dieselbe Tonhöhe genau erreicht werden kann, nämlich die Stimmgabel. Jedermann kennt die kleine zweizinkige Gabel aus Stahl, die beim Anschlagen immer wieder denselben Ton giebt und ihre Stimmung Jahrzehnte hindurch beibehält, wenn sie nicht irgendwie beschädigt oder der Hitze ausgesetzt wird. Man stimmt gewöhnlich die Gabel auf den Ton a′ (); doch auch diese Angabe ist noch keine genaue, da sich ergeben hat, daß die Höhe des genannten Tones in den verschiedenen Orchestern sehr verschieden angenommen wird: so fand Scheibler, als er im Jahre 1833 verschiedene Gabeln der Pariser, Berliner und Wiener Orchester untersuchte, daß deren Schwingungszahlen zwischen 426 und 445 Schwingungen in der Secunde schwankte. Daher machte er schon im nächsten Jahre den Vorschlag, daß man, um diese Ungleichheit, die mehr als einen Viertelton betrug, zu vermeiden, eine Normalstimmung einführen möchte, und daß man zu diesem Zwecke die Stimmgabeln alle so anfertigen sollte, daß sie in der Secunde 440 Schwingungen machen. Doch damals wurde auf diesen Vorschlag wenig geachtet, und erst im Jahre 1859 geschah ein entschiedener Schritt in dieser Richtung, indem durch ganz Frankreich zur Herbeiführung einer gleichmäßigen Stimmung eine Gabel eingeführt wurde, deren Schwingungszahl nur 435 beträgt: man wählte diese etwas niedrige Zahl, weil man die Ueberzeugung gewonnen hatte, daß die Stimmung in den letzten hundert Jahren etwas in die Höhe gegangen war, und man zu der Tonhöhe zurückkehren wollte, für welche Händel, Gluck, Haydn und Mozart geschrieben haben. Das Stimmen der Gabeln wird durch Feilen bewirkt, und zwar wird der Ton höher, wenn man am Ende der Zinken, tiefer, wenn man in der Biegung ein wenig abfeilt.

In unseren Orchestern kommt bisweilen ein Instrument zur Anwendung, das nur aus einem einzigen gebogenen Stabe aus ungehärtetem Stahle besteht, der Triangel (Fig. 67): derselbe hat die Form eines gleichseitigen Dreiecks, das an seinem oberen Eckpunkt offen ist, und wird durch Anschlagen mit einem Stahlstäbchen zum Tönen gebracht. Der Klang dieses Instrumentes ist ein ziemlich voller und man kann leicht neben dem Grundton noch eine Reihe harmonischer Obertöne unterscheiden; allein für das Eingreifen in die Harmonie oder gar in die Melodie eignet sich dieser Klang durchaus nicht, sondern erscheint immer als etwas Fremdartiges, fast nur als ein Geräusch, sodaß das Instrument hauptsächlich nur zur schärferen Markirung des Rhythmus verwendet wird: um die Schärfe dieses Geräusches noch zu erhöhen, werden häufig noch auf die untere Seite des Dreiecks Metallringe aufgeschoben, durch welche ein Klirren entsteht, das den Rhythmus noch stärker hervortreten läßt.

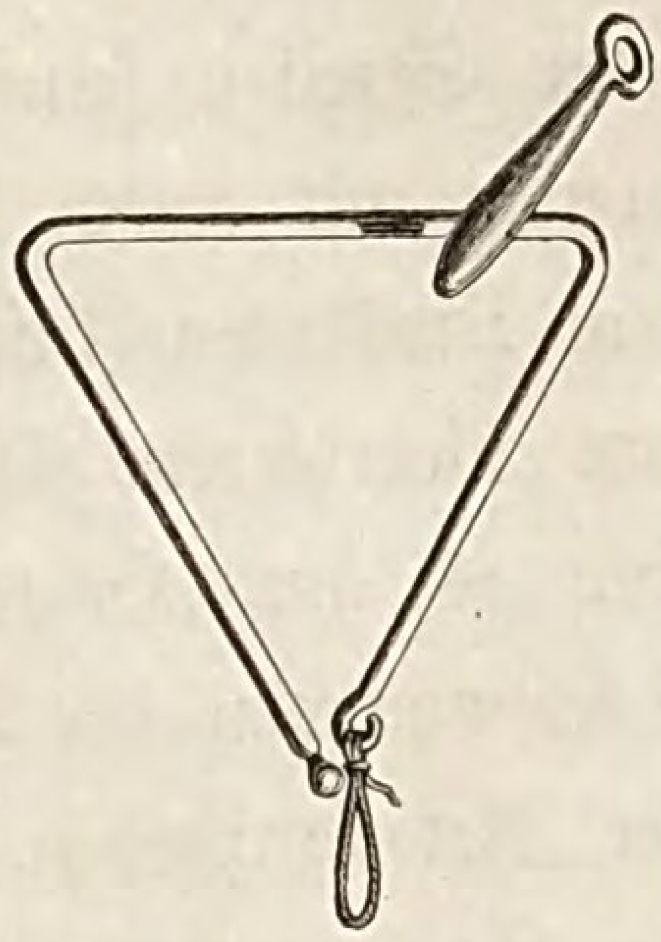


Fig. 67. Triangel.

Nur noch als ein Spielwerk für Kinder findet man die Glasharmonika (Fig. 68), ein Instrument, das aus einer Reihe von Glasstreifen zusammengesetzt ist, deren Länge so bemessen wird, daß sie beim

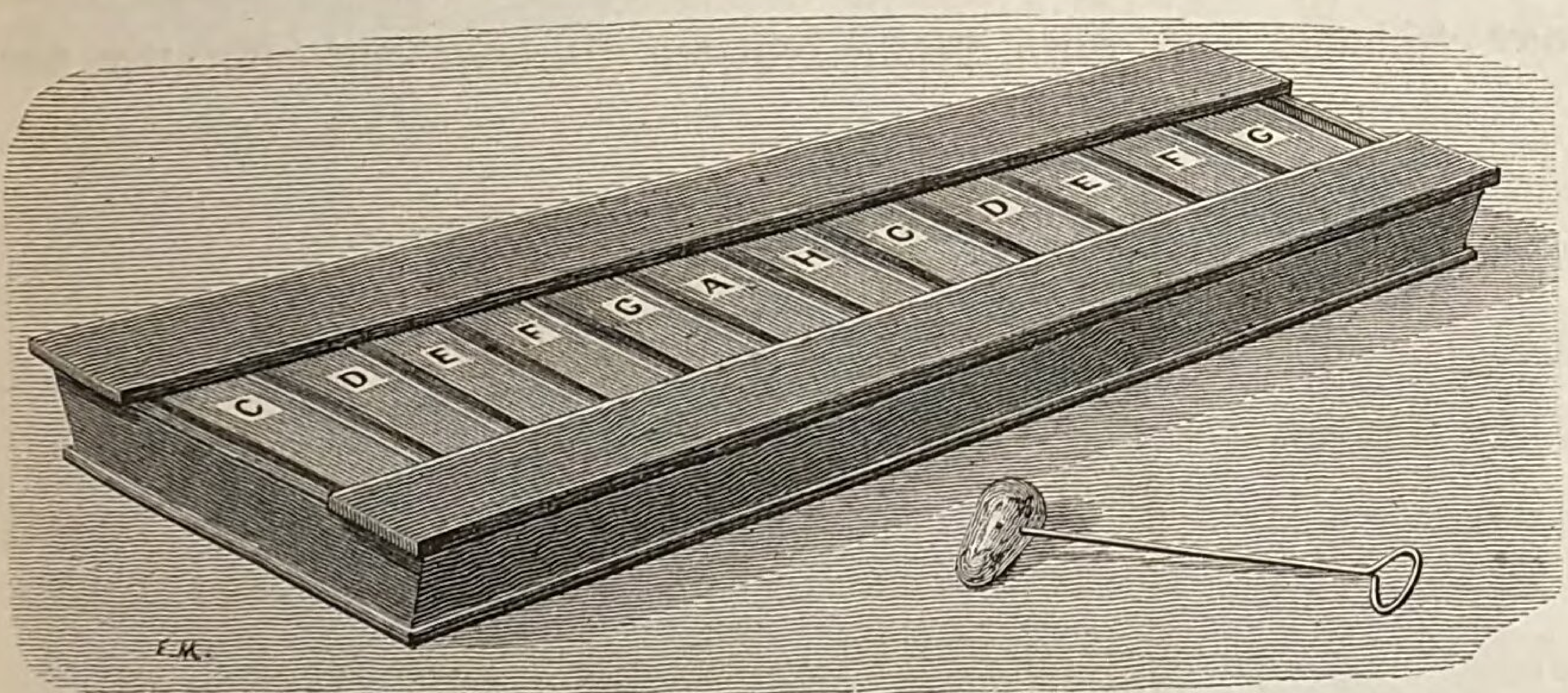


Fig. 68. Glasharmonika.

Anschlagen der Reihe nach die Töne der Tonleiter geben: wenn man die Streifen alle von gleicher Breite aus derselben Glastafel schneidet, sodaß auch ihre Dicke gleich ist, so muß man ihre Längen so abgleichen, daß sich deren Quadrate umgekehrt wie die Schwingungszahlen der Töne,

auf die sie gestimmt sein sollen, verhalten. Die Glasstreifen befinden sich in einem Holzkasten, welcher zugleich als Resonanzboden dient und die Töne verstärkt, und sind auf zwei ausgespannten Saiten so befestigt, daß sie mit den Knoten, die sich bei ihrem Schwingen bilden, sobald jeder Streifen seinen Grundton giebt, aufliegen; man schlägt die Glasstreifen mit einem kleinen Hammer, dessen Kopf aus Kork besteht. Mit dem erwähnten Instrumente hat weiter die Strohfiedel, die bei Völkern von niedrigerem Culturgrade angetroffen wird, große Aehnlichkeit: nur sind es hier Holzplatten, welche auf Strohseilen liegen, durch deren Schwingungen der Ton hervorgerufen wird; auch fehlt diesem Instrumente der Resonanzboden. Endlich finden wir eine ähnliche Einrichtung bei der Lyra unserer Regimentsmusik, bei welcher Metallplatten von verschiedener Länge übereinander hängen; dieselben sind auf die Töne der Tonleiter gestimmt und werden mit einem kleinen metallenen Hammer angeschlagen. Dieses Instrument ist noch insofern einer größeren Abwechselung fähig, als man leicht eine der Platten aushängen und durch eine anders gestimmte ersetzen kann: man kann also sehr bald z. B. F mit Fis vertauschen und dadurch die Grenzen der harmonischen Ausweichungen erweitern.

Bei den Spieldosen werden die Töne durch die Schwingungen von Streifen aus Stahl oder Messing hervorgebracht, welche gleich den Zinken eines Kammes aus einer Platte desselben Metalles ausgeschnitten sind

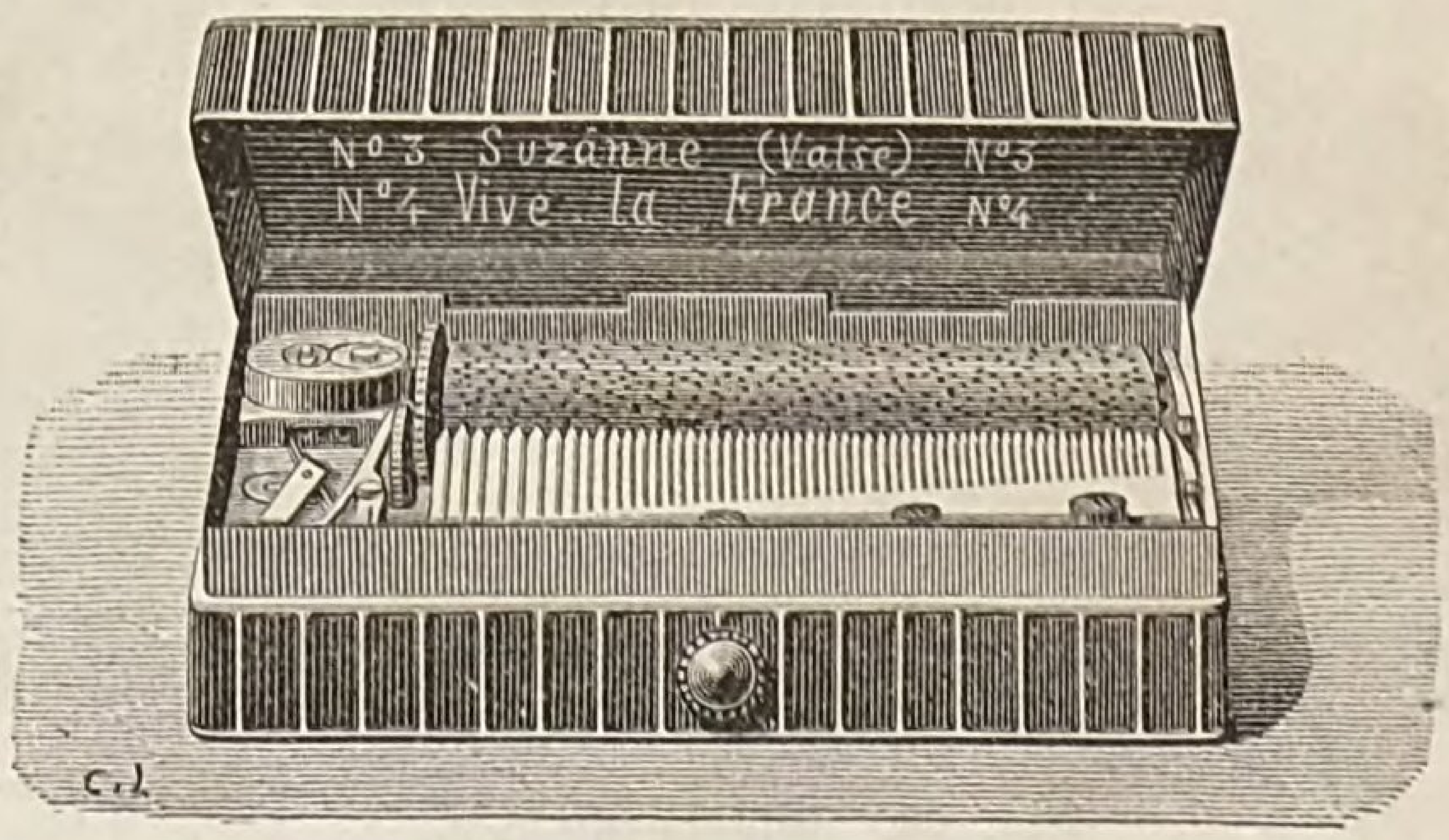


Fig. 69. Spieldose.

und deren Länge so bestimmt ist, daß sie die Tonleiter geben. Das Schwingen wird durch kleine Stifte hervorgerufen, welche auf einer Walze aufsitzen und beim Vorübergehen die Streifen etwas zur Seite biegen

und dann wieder frei lassen: die Walze aber wird durch ein Uhrwerk, das durch eine Feder getrieben wird, welche man wie bei einer gewöhnlichen Taschenuhr mittels eines Schlüssels spannt, in gleichmäßige Umdrehung versetzt. Schon die Dose selbst, in welcher das Ganze eingeschlossen ist, trägt zur Verstärkung des Schalles bei: noch mehr aber läßt sich die Wirkung steigern, wenn man das Instrument auf einen Tisch oder besser noch auf ein Glas stellt. Gewöhnlich trägt die Walze mehrere Systeme von Stiften, so daß dadurch, daß man sie ein wenig nach der einen oder anderen Seite hinschiebt, verschiedene Musikstücke zum Gehör kommen.

Bereits in sehr alten Zeiten waren solche Instrumente, bei denen der Ton durch das Anschlagen von Stäben oder Metallplatten hervorgerufen wird, vielfach im Gebrauche, und so finden wir in den Darstellungen der Aegypter häufig Instrumente dieser Art abgebildet, welche man mit

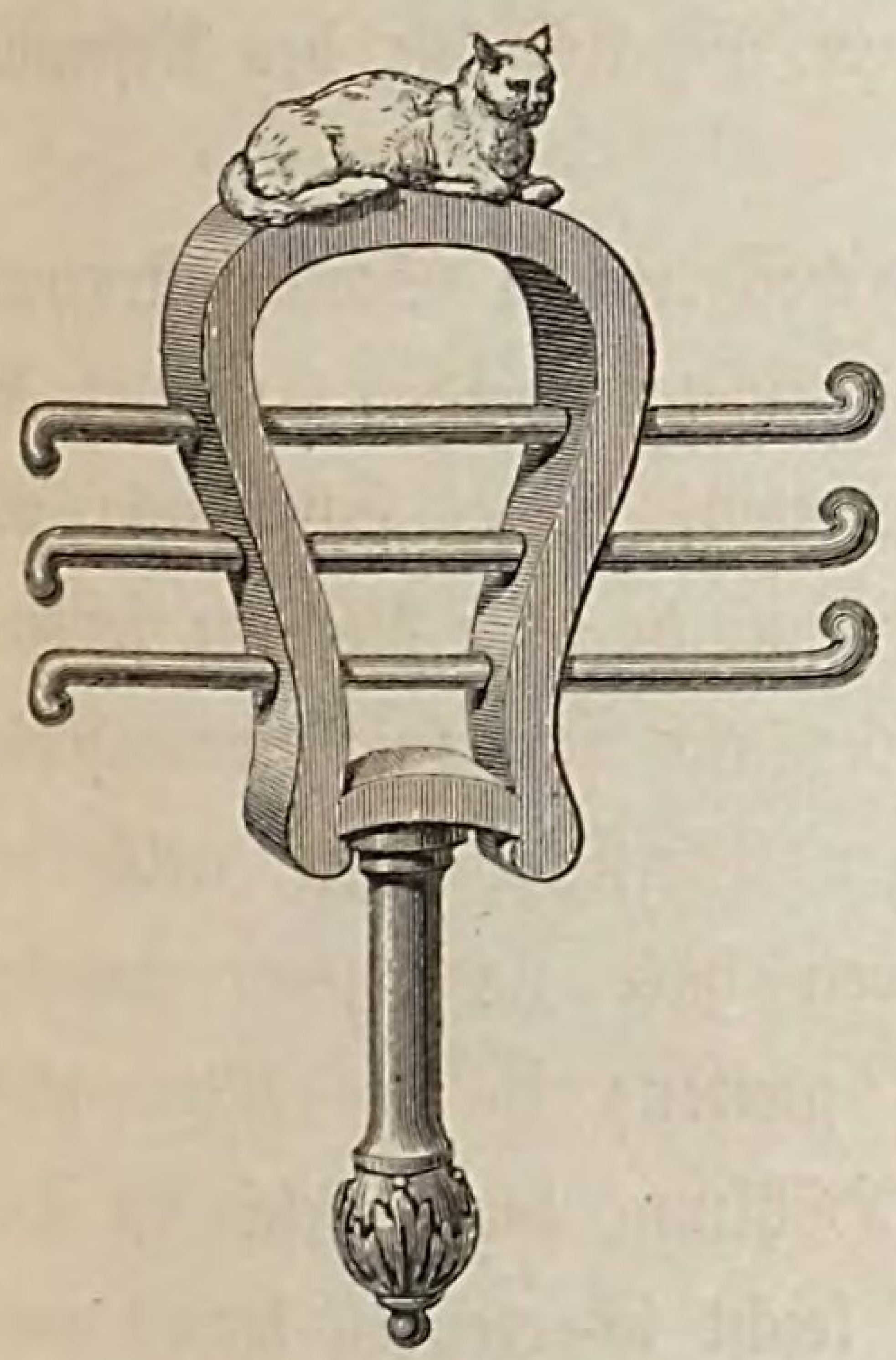


Fig. 70. Sistrum der Isis.

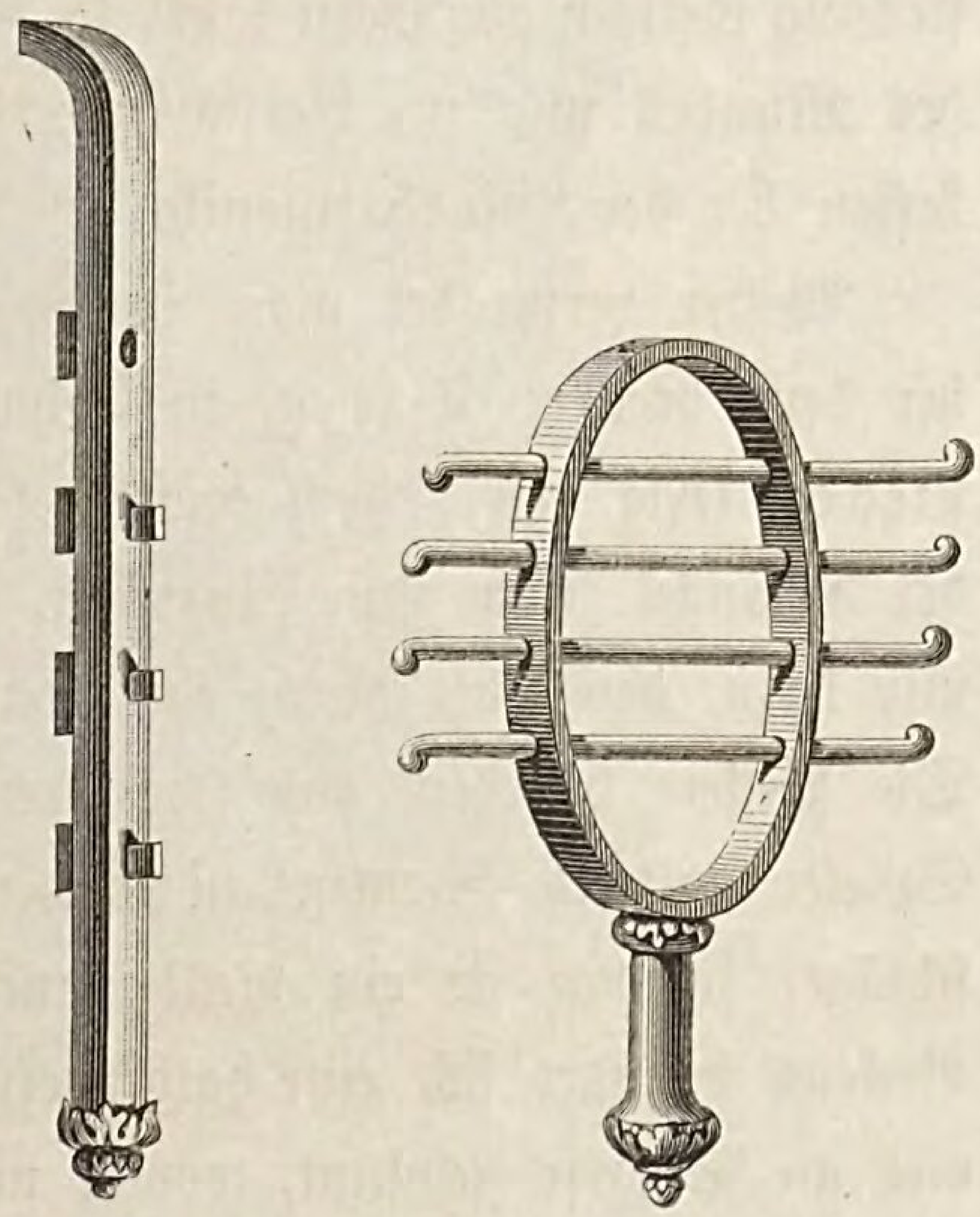


Fig. 71 und 72. Aegyptische Sistren.

dem Namen der Sistren bezeichnete und von denen wir in Fig. 70, 71 und 72 Abbildungen mittheilen. Diese Sistren wurden hauptsächlich beim Dienste der Isis angewendet, wie Plutarch erwähnt, sie schienen aber auch von den Israeliten angenommen worden zu sein: wenigstens vermuthet man, daß das eine Instrument, welches bei David's Einholung der Bundeslade erwähnt wird, mit dem Sistrum gleichbedeutend ist.

Ein gleichfalls sehr altes einfaches Instrument, das sich aber in

der Hand der Kinder noch bis auf den heutigen Tag erhalten hat, ist das allbekannte Brummeisen (Fig. 73), das aus einer schmalen Zunge aus Stahl besteht, welche einerseits an einem doppelt gekrümmten eisernen Bügel befestigt, am freien Ende aber hakenförmig umgebogen ist. Faßt man den Bügel mit den Zähnen und setzt die Metallzunge durch den Finger in Bewegung, so hört man einen Ton, der sich durch die Mund-

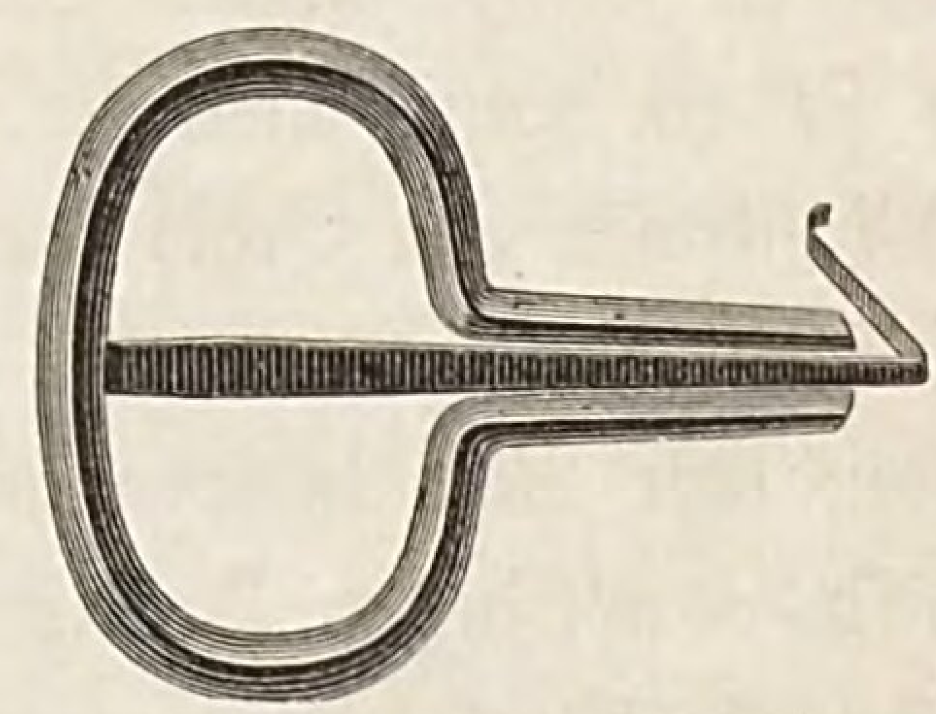


Fig. 73. Brummeisen.

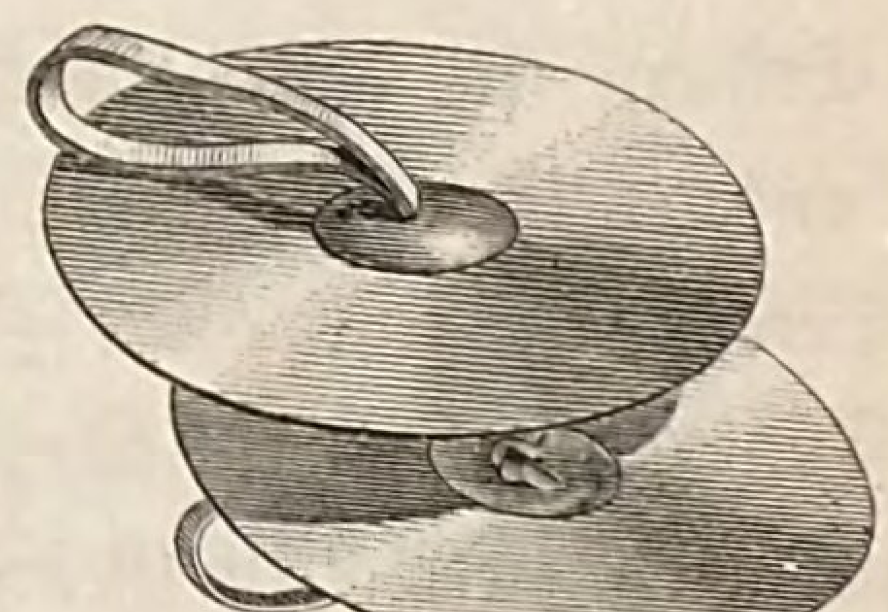


Fig. 74. Becken.

stellung vielfach abändern läßt: in der Hauptsache dient hierbei die Höhlung des Mundes nur zur Verstärkung des Tones, ähnlich wie der Resonanzkasten bei der Glasharmonika.

Weiter verwendet man in unseren Orchestern ein Schlaginstrument, bei dem breitere Flächen in Schwingung versetzt werden, nämlich die Becken (Fig. 74), doch auch dieses Instrument eignet sich ebenso, wie der Triangel, nicht zum Eingreifen in die Harmonie oder Melodie, sondern nur dazu, den Tact durch ein klirrendes Geräusch schärfer hervorzuheben. Die Becken bestehen aus zwei kreisförmigen Messingplatten, welche der Spieler mittels Riemen in beiden Händen hält und gegen einander schlägt, so daß sie ein wenig aneinander gleiten; in der Mitte jedes Beckens befindet sich eine halbkugelförmige Höhlung, durch welche der Ton viel an Schärfe gewinnt, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man die Oeffnungen mit Papier verstopft. Mit der großen Trommel bilden Becken und Triangel den Theil des Orchesters, welchen man mit dem italienischen Namen Banda bezeichnet.

Einen noch durchdringenderen Ton, als die Becken, giebt der Gong oder Tamtam der Chinesen und Japaner (Fig. 75): eine Scheibe aus Messingblech von ziemlich großem Durchmesser (50 ^{cm} bis 1 ^{m}), welche mit einem vorspringenden Rande versehen ist. Man schlägt den Gong in der Nähe des Randes mit einem Stabe, an dessen Ende sich ein mit Leder überzogener Knopf befindet, und erzielt dadurch Töne von eigen-

thümlicher Klangfarbe, einen sehr zusammengesetzten Schall, aus welchem häufig bald höhere, bald tiefere Töne stoßweise hervortreten. Die Chinesen, wie auch die Japaner, bedienen sich dieses Instrumentes bei allen religiösen und politischen Festen, bei Trauungen, Begräbnissen, ja sogar um die Ankunft eines höheren Würdenträgers anzuzeigen. Daß dieses



Fig. 75. Japanische Bonzen den Gong und Becken schlagend.

Instrument auch in der europäischen Musik einmal zur Anwendung gekommen ist, dafür hat man das Zeugniß des berühmten Physikers Chladni: derselbe berichtet, daß bei der Aufführung eines Oratoriums in Kopenhagen das Erdbeben beim Tode Christi sehr erfolgreich durch den Tamtam zum Ausdrucke gebracht worden sei. Gar zu sehr darf man sich nicht über eine solche Verirrung des Geschmackes wundern: hat man es früher doch auch nicht verschmäht, bei der Ausführung von Musikstücken Kanonen wie musikalische Instrumente mitwirken zu lassen.

§ 2. Glocken und Glockenspiele.

An die schwingenden Platten schließen sich naturgemäß andere Instrumente an, die sich von jenen nur dadurch unterscheiden, daß ihre Oberfläche gekrümmt ist, daß sie Rotationskörper, Halbkugeln oder halbe Ellipsoide bilden. Es sind dies die Glocken und Klingeln, welche je nach ihrer Bestimmung in den verschiedensten Größen und Gestalten angefertigt werden, je nachdem sie nur als Instrumente dienen, mit deren Hilfe man Zeichen in die Ferne geben will, sei es, daß man dadurch aus den einzelnen Theilen eines Hauses, den einzelnen Räumen einer Fabrik nach anderen Räumen hin irgend welche Mittheilung machen will, sei es, daß man durch sie auf Eisenbahnen und Schiffen Ankunft und Abfahrt ankündigt; oder auch als mehr musikalische Instrumente, wie dies bei den Kirchenglocken der Fall ist, die zwar auch zunächst die Bestimmung haben, die Gemeinde vom Beginne des Gottesdienstes oder von anderen kirchlichen Vorkommnissen in Kenntniß zu setzen, die aber auch dabei einen dem Ohre wohlgefälligen Klang haben sollen.

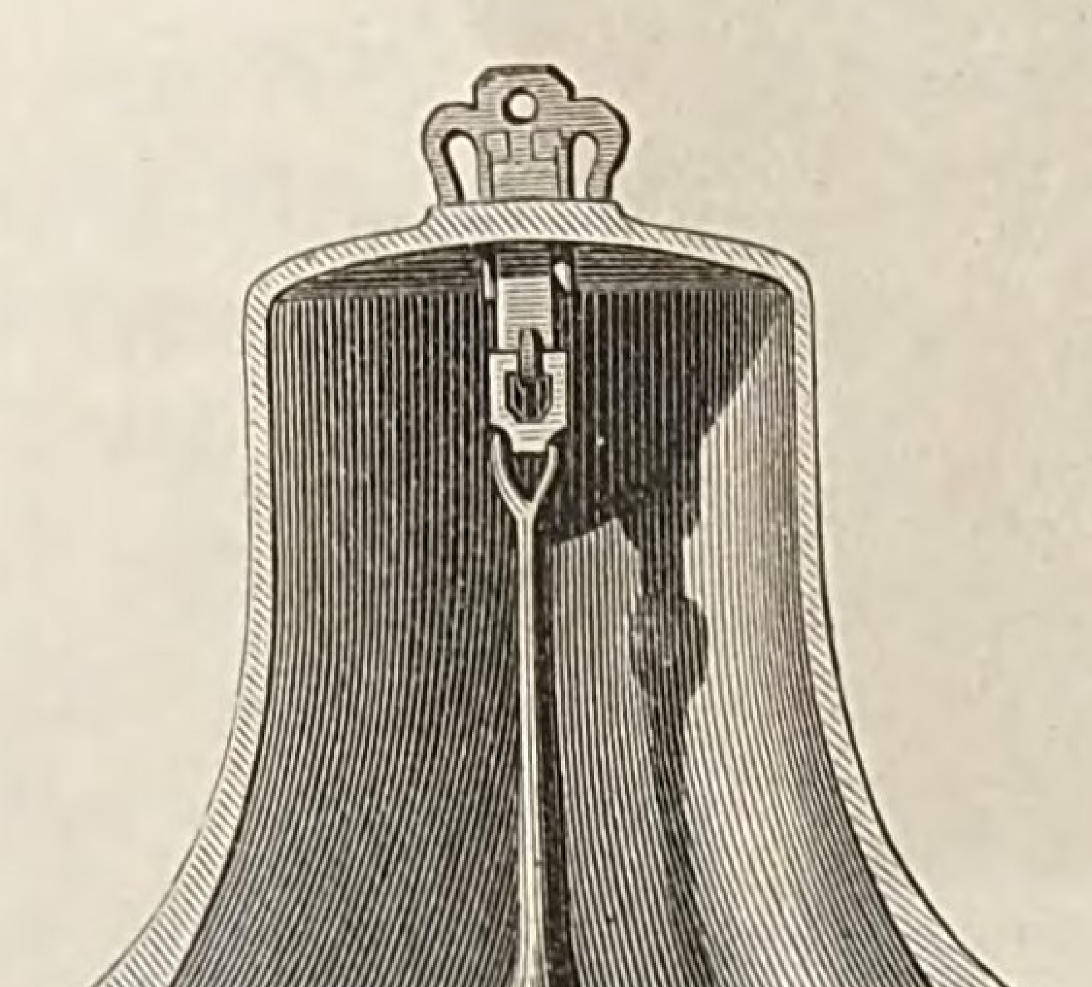


Fig. 76. Kirchenglocke: Durchschnitt.



Fig. 77. Kirchenglocke: äußere Ansicht.

Wird eine Glocke angeschlagen, so hört man zunächst einen vorzüglich stark hervortretenden Ton, den Grundton: strengt man aber das Ohr etwas an, so kann man neben demselben eine ganze Reihe von höheren Tönen, sogenannte Obertöne unterscheiden, die zu dem Grundton in einer gewissen harmonischen Beziehung stehen und dem Klange der Glocke seine eigenthümliche Fülle verleihen. Damit diese verschiedenen Töne in

voller Reinheit und verhältnißmäßiger Stärke erscheinen können, muß die Gestalt der Glocke eine geeignete sein, und es scheint, daß sich am besten immer noch die Form bewährt, die man nun schon seit Jahrhunderten unseren Kirchenglocken giebt, und die in Fig. 76 und 77 im Durchschnitt und äußerer Ansicht dargestellt ist: weit weniger gut ist der Klang



Fig. 78. Japanische Glocke aus Kioto.

der Glocken von anderer Gestalt, wie sie in anderen Erdtheilen im Gebrauche sind; so sehen wir z. B. in Fig. 78 eine japanische Glocke, die in ihrem unteren Theile die Form eines Cylinders hat, auf welchen sich eine Halbkugel aufsetzt.

Bei unseren Kirchenglocken berechnet man die Form der äußeren Umrisse und die Dicke des Metalles in den verschiedenen Höhen so, daß, wenn der untere Rand oder der Glockenkranz durch seine Schwingungen

den Grundton ertönen läßt, der obere Theil oder die Haube hierzu die Octave giebt, was man dadurch erreicht, daß man den Durchmesser der Haube halb so groß macht, als den des Kranzes. Die Höhe der Glocke nimmt man gewöhnlich so, daß sie zum Durchmesser des Kranzes im Verhältniß vier zu fünf steht, das ist das Verhältniß der Schwingungszahlen des Grundtones und der Terz, so daß wohl zunächst hierdurch die Terz in den Klang eingeführt wird; doch auch jede einzelne Schicht der Glocke mag wohl zur Vervollständigung des Klanges beitragen, so daß noch eine ganze Reihe von Tönen mit auftreten, unter denen hauptsächlich auch die Quinte des Grundtones deutlich vernehmbar ist.

Man könnte nun meinen, daß dieses Mitklingen der Obertöne zu Verwirrungen in der Harmonie führen müßte, wenn mehrere Glocken gleichzeitig geläutet werden, selbst wenn sich deren Grundtöne in vollkommen reiner Stimmung befinden: und in der That kann man auch beobachten, daß unter den Nebentönen manche auftreten, die so nahe bei einander liegen, daß ihr Zusammenklingen auf unser Ohr einen sehr unangenehmen Eindruck machen würde, wenn sie einmal für sich allein erklingen sollten. Nehmen wir z. B. an, daß drei Glocken in ihren Grundtönen den reinen Duraccord CEG geben, so würde man bei der ersten als Nebentöne E und G, bei der zweiten Gis und H und bei der dritten H und D hören: man würde also gleichzeitig die Töne H und C und, was noch schlimmer ist, G und Gis vernehmen. Wie kommt es nun, könnte man fragen, daß trotz dieses Mitklingens von Tönen, die wir als nicht harmonische bezeichnen müssen, der Zusammenklang der Glocken unserem Ohre nicht unangenehm ist? Es ist da zuerst zu bedenken, daß sich ganz dieselbe Erscheinung überhaupt allgemein bei aller mehrstimmigen Musik zeigt, daß jedes Instrument zusammengesetzte Klänge mit einer größeren oder geringeren Anzahl von Obertönen giebt, daß also wohl anzunehmen ist, daß unser Ohr vorwiegend nur die Grundtöne, welche in der Regel auch mit viel größerer Intensität auftreten, beachtet, während die Mitklinger der ganzen Schallerscheinung nur eine Art von Schattirung verleihen, wenn wir uns dieses Ausdruckes bedienen wollen.

Bei den Kirchenglocken kommt nun weiter hinzu, daß dieselben gleichsam Pendel von verschiedener Länge darstellen, daß sie also beim Läuten mit verschiedener Geschwindigkeit, in ungleichem Rhythmus schwingen: so wie

also das Anschlagen der Klöppel bei den einzelnen Glocken zu verschiedenen Zeiten erfolgt, so werden auch die Verbindungen der einzelnen Klänge mit einander wechseln, und hierdurch entsteht das Wogen, das den wesentlichen Charakter des Läutens ausmacht. Zum Schlusse aber, wenn die Töne verklingen, so hält die größte Glocke mit ihrem Schalle am längsten aus, so daß sich die Menge der Harmonien in dem einen Grundton auflöst. Man sieht hier recht deutlich, daß Dissonanzen unser Ohr keineswegs verletzen, sobald sie gut vorbereitet und richtig gelöst werden. Daher ist es nicht einmal nöthig, daß man die Glocken, die zu einem Geläute gehören, gerade auf die Töne des einfachen Dur- oder Mollaccordes stimmt: man hat auch andere Tonverbindungen mit sehr gutem Erfolge versucht; wir wollen unter anderem die Verbindung der Töne E, Fis, Gis, A erwähnen, welche zur Anwendung gebracht worden ist, bei der nach den verschiedensten Tonverschlingungen, unter denen besonders E Gis und E Fis A immer wiederkehren, der Klang schließlich immer zum Grundtone E zurückgeführt wird.

In Bezug auf die Theorie der Schwingungen der Glocken ist Vieles noch vollständig im Unklaren, sodaß sich die Anfertigung derselben darauf beschränken muß, die praktischen Erfahrungen zu verwerthen: selbstverständlich ist dabei nicht allein auf Form und Größe zu achten, sondern ebensogut auch auf das Material, aus dem sie verfertigt werden; dasselbe besteht in der Regel aus einer Mischung von Kupfer (bis zu 80 Theilen) und Zinn (etwa 20 Th.), dem man vielleicht noch etwas Blei und Nickel zusetzt: man nennt dasselbe Glockenspeise oder Glockengut. Je nach den Mischungsverhältnissen läßt sich die Elasticität dieses Stoffes erhöhen oder herabsetzen und dadurch das Wesen des Klanges verändern.

Auch zur Aufführung zusammenhängender Musikstücke hat man die Glocken in Anwendung gebracht, obgleich sie sich zu diesem Zwecke im Ganzen weniger eignen, einmal weil ihr Klang, besonders bei den kleineren, von unharmonischen, hohen Klirrtönen begleitet wird, und dann, weil der Fehler, den schon das Clavier besitzt, daß die Töne in ziemlicher Stärke auftreten, dann aber plötzlich sehr an Intensität verlieren, bei ihnen in noch höherem Grade auftritt. So hatten wir vor etwas mehr als zwanzig Jahren Gelegenheit, eine Gesellschaft von Glockenspielern, welche wohl ganz Deutschland durchzog, zu bewundern, wegen der Gewandtheit, mit der sie die verwickeltsten Musikstücke zum Gehör brachte:

die zehn oder zwölf Spieler standen um einen Tisch, auf welchem auf einer dämpfenden Unterlage eine Anzahl Glocken aufgestellt war, die von ihnen ergriffen und angeschlagen wurden, sodaß sich die Töne zu einem vollen, vielstimmigen Stücke vereinigten; die Geschicklichkeit, mit welcher die Spieler im schnellsten Tempo die richtigen Glocken erfaßten, anschlugen und wieder an den richtigen Platz stellten, oder auch sich gegenseitig zuwarfen, gewährte ein sehr ergötzliches Schauspiel.

Viel leichter zu behandeln waren die alten Glockenspiele (Fig. 79), bei denen eine Reihe von Glocken, welche nach den Tönen der Scala gestimmt waren, auf einem Resonanzboden befestigt waren und mit Hilfe von zwei Klöppeln angeschlagen wurden. Hierher kann man auch

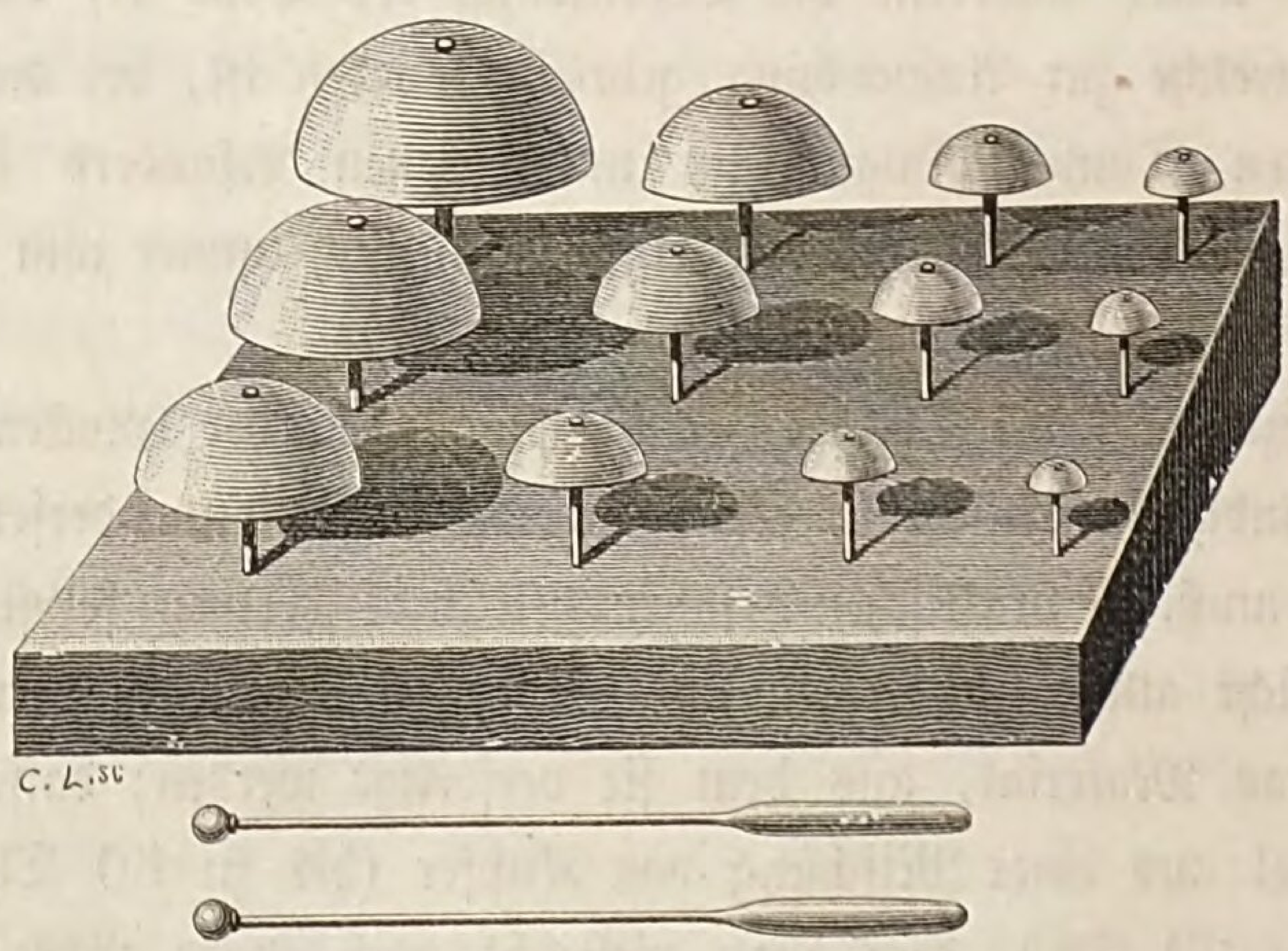


Fig. 79. Glockenspiel.

die von Franklin erfundene Harmonika rechnen: dieselbe besteht aus einer Reihe gestimmter Glasglocken, welche auf einer Axe befestigt sind und durch dieselbe in Umdrehung versetzt werden; drückt man während der Umdrehung den angefeuchteten Finger gegen die Glocken, so geben sie einen sehr sanften Ton, sodaß sich das Instrument für getragene Musik recht gut eignen würde, wenn sein Klang die Nerven nicht gar zu sehr angriffe, so wie auch die Reibung der Glocken gegen die Fingerspitzen denselben nicht gar zu dienlich ist.

Die Glockenspiele im eigentlichen Sinne des Wortes, welche wir bisweilen in Verbindung mit den Uhrwerken der Thurmuhren finden, bestehen aus einer Reihe von Glocken, welche durch Hämmer angeschlagen werden: diese Hämmer werden entweder durch die Stifte einer

Walze, die ebenso construirt ist, wie die Walze einer Spieldose, und durch das Uhrwerk in Umdrehung versetzt wird, in Bewegung versetzt, oder auch durch die Tasten einer Claviatur, die man in gleicher Weise wie beim Claviere oder der Orgel spielen kann, regiert. Bei alten Glockenspielen besteht der Mechanismus aus einer Reihe von starken Hebeln (Fig. 80), welche durch gewaltige Schläge mit der Faust und

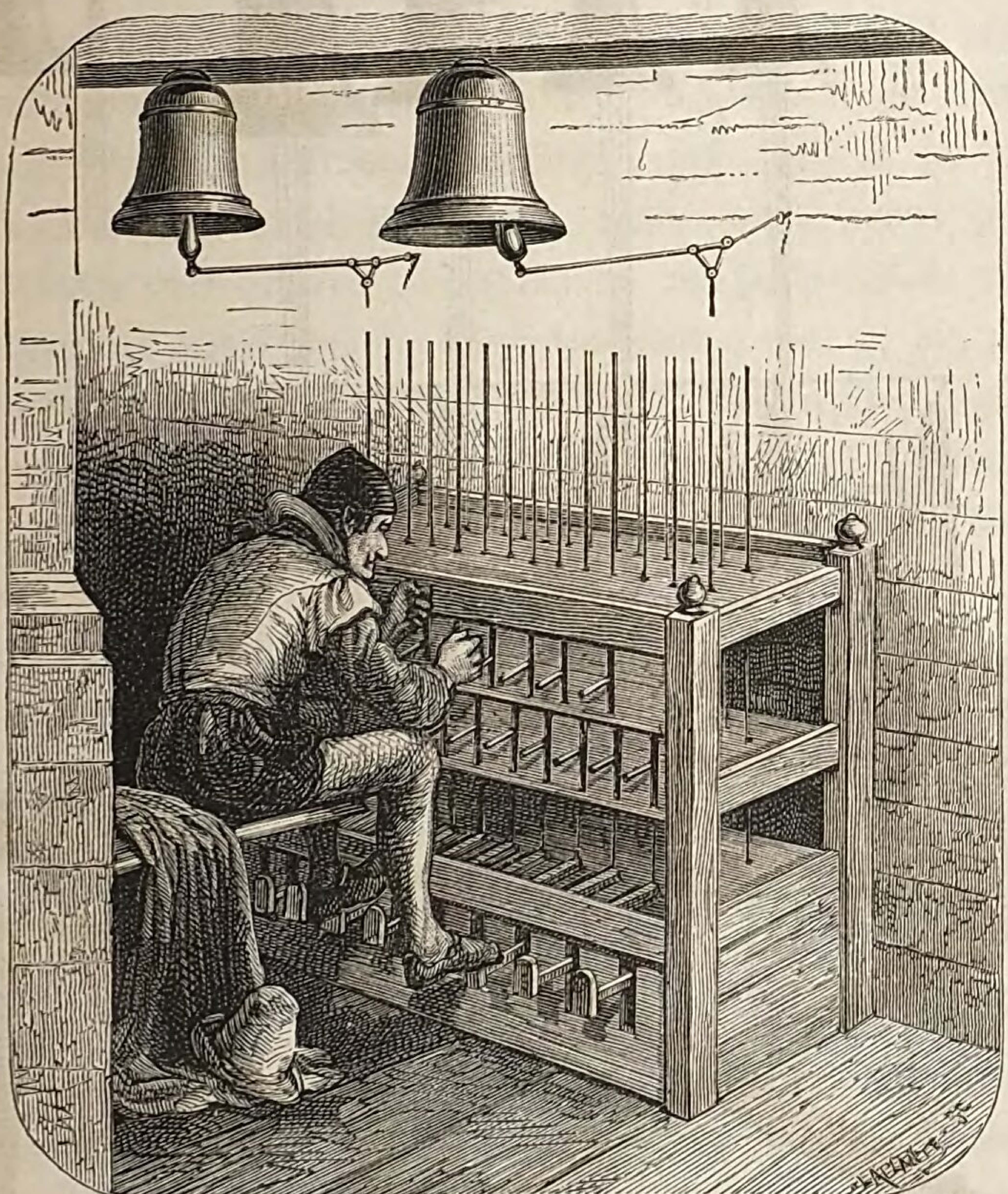


Fig. 80. Mechanismus eines alten Glockenspieles.

Tritte mit dem Fuße bewegt werden: jetzt aber hat man sich die Fortschritte der Mechanik auch für diese Instrumente zu Nutze gemacht.

Durch ganz Niederdeutschland hindurch vom nördlichen Frankreich an bis in die russischen Ostseeprovinzen hinein findet man vielfach auf Kirchthürmen und ähnlichen Gebäuden in den Städten Glockenspiele, welche regelmäßig zu allen Stunden ein Musikstück, gewöhnlich einen Choral erklingen lassen, und eine, wenn auch nicht vollständig verbürgte, Kunde berichtet, daß beim großen Brande von Hamburg, im Mai 1842,

als der Thurm der Nicolaikirche schon in vollen Flammen stand, das Glockenspiel auf demselben noch das: „Allein Gott in der Höh' sei Ehr'" intonirte, bevor das Gebäude zusammenbrach. Auch bei diesen Glockenspielen werden die schweren Hämmer, welche gegen die Glocken

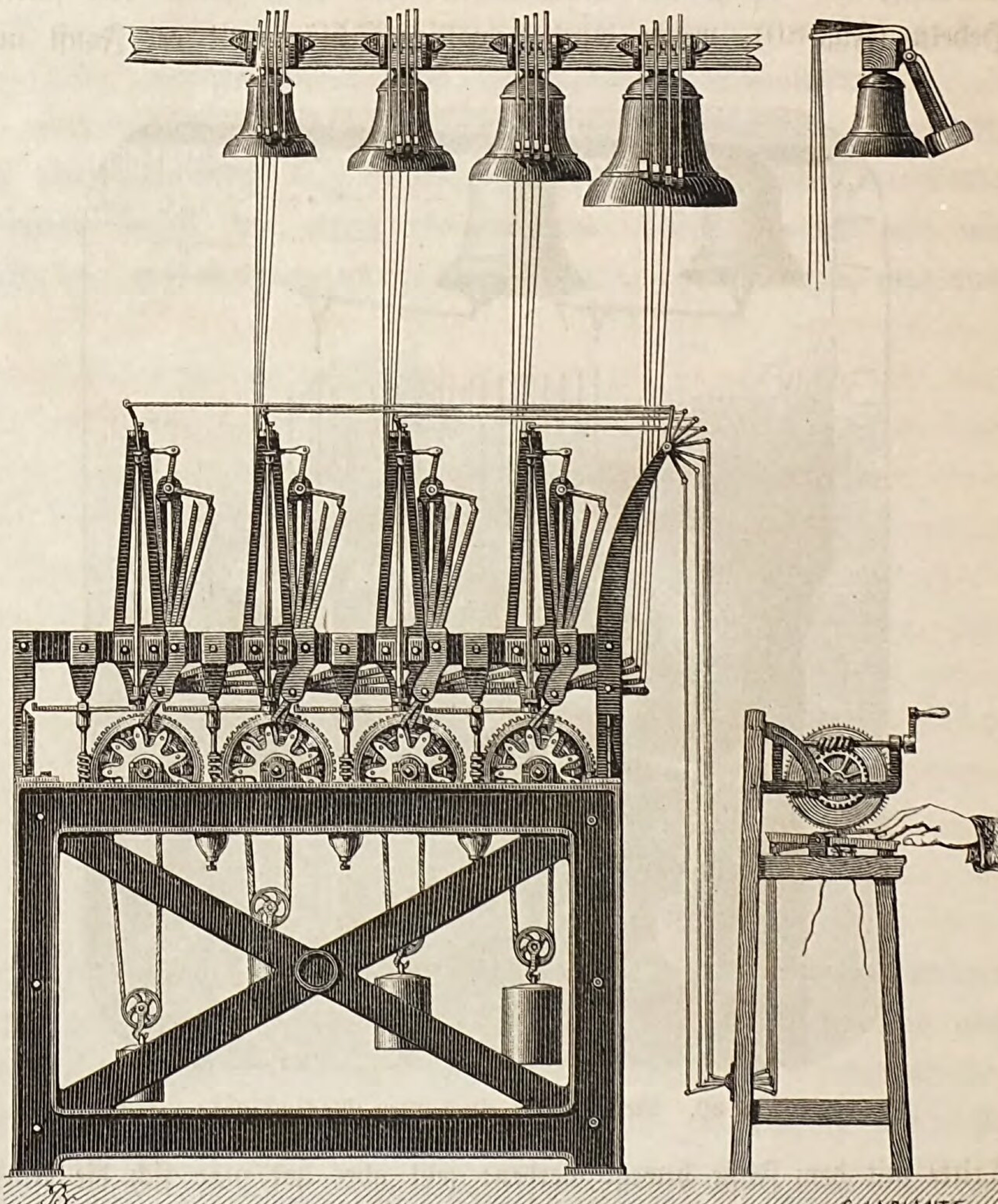


Fig. 81. Neues Glockenspiel mit Tastatur von Saint Germain l'Auxerrois.

schlagen, durch die Stifte einer sehr großen Walze in Bewegung versetzt, zu deren Umdrehung die Last eines Gewichtes von mehreren Centnern erforderlich ist: und schon um dieses Gewicht aufzuziehen, haben bei einzelnen Werken mehrere Männer jedesmal eine halbe Stunde und noch länger zu arbeiten.

Eine viel größere Vollkommenheit zeigt der Mechanismus bei manchen neueren Glockenspielen, welche ähnlich wie die Claviere durch die Tasten einer Claviatur oder auch durch eine Walze in Gang gesetzt werden, wie z. B. das in der Stadt Saint Germain l'Auxerrois von Collin construirte (Fig. 81), von welchem der Director der Uhrmacherschule zu Besançon Sire folgende Beschreibung entwirft:

„Die wesentlichsten Verbesserungen, welche dieses neue System von Glockenspielen darbietet, beruhen 1. in der Anwendung eines besonderen Räderwerkes für jede einzelne der 24 Glocken, welches zur Größe der zugehörigen Glocke in passendem Verhältnisse steht, und 2. in der Auslösung dieser Räder, welche die Aufgabe haben, die Hämmer zu heben; zu jeder Glocke aber gehören vier Hämmer, welche der Reihe nach von einem Sperrkegel erfaßt und so lange festgehalten werden, bis sie durch die Taste oder den Stift der Walze ausgelöst werden, wobei kein anderer Widerstand zu überwinden ist, als nur eine geringe Reibung. Sobald die Auslösung erfolgt ist, fällt der Hammer mit solcher Geschwindigkeit nieder und schlägt gegen die Glocke, daß dadurch sogar eine Bewegung in Sechzehntel- und Zweiunddreißigstelnoten ausführbar ist, was bei den Glockenspielen aber niemals erfordert wird. In demselben Augenblicke aber, in welchem der Stift den Hammer auslöst, wird auch das Räderwerk weiter rücken und einen andern Hammer fassen, um ihn in Bereitschaft zu setzen, daß er anschlägt, sobald dieselbe Note wieder erklingen soll. Der Unterschied zwischen den alten Systemen und dem von Collin angewendeten besteht also darin, daß bei letzterem der Hammer nicht unmittelbar durch die Stifte der Walze oder durch die Tasten gehoben wird, sondern durch ein dazwischen eingeschaltetes Räderwerk, sodaß der beim Spiele erforderliche Kraftaufwand auf ein sehr geringes Maß zurückgeführt ist."

Zur Auslösung läßt sich auch ein galvanischer Strom recht gut verwenden, und so besitzt auch das Glockenspiel von Saint Germain l'Auxerrois neben der gewöhnlichen noch eine elektrische Claviatur. Ein weiterer Vorschlag Sire's, daß man das Glockenspiel auch mit der Orgel in Verbindung setzen und auf diese Weise gewissermaßen ein neues Glockenregister einführen möchte, dürfte doch wohl unserem Geschmacke nicht ganz zusagen.

§ 3. Trommeln und Pauken.

Wir kommen jetzt zu denjenigen einfachen Instrumenten, deren Töne durch die Schwingungen von gespannten Häuten hervorgebracht und durch ein hohles Gefäß aus Holz, Metall oder einem anderen Stoffe, über welches sie gespannt sind, verstärkt werden: im Allgemeinen bezeichnet man diese Instrumente als Trommeln und Pauken.

Die einfachste Trommel ist die Handtrommel oder das Tambourin (Fig. 82), auch maurische oder baskische Trommel genannt, welche nur aus einem schmalen cylindrischen Rande besteht, über den eine Haut ausgespannt ist und der ringsherum eine Reihe von Schellen oder Schallblättchen trägt. Man hält diese Trommel mit der einen Hand, mit dem Rücken der anderen Hand aber schlägt man dagegen und läßt hierauf die Finger derselben über die Haut schnell hinweggleiten, wodurch einerseits ein rhythmisches Schwingen der Membran, andererseits das Anschlagen der Schellen oder Schallblättchen bewirkt wird. Dieses Instrument findet hauptsächlich Verwendung bei den graziösen Tänzen der Südländer zur Markirung des Tactes, und mag wohl durch die Mauren in Südeuropa Verbreitung gefunden haben; bei den Tänzen der Provençalen dient es hauptsächlich zur Begleitung des Spieles einer kleinen Flöte, welche Galoubet genannt wird.

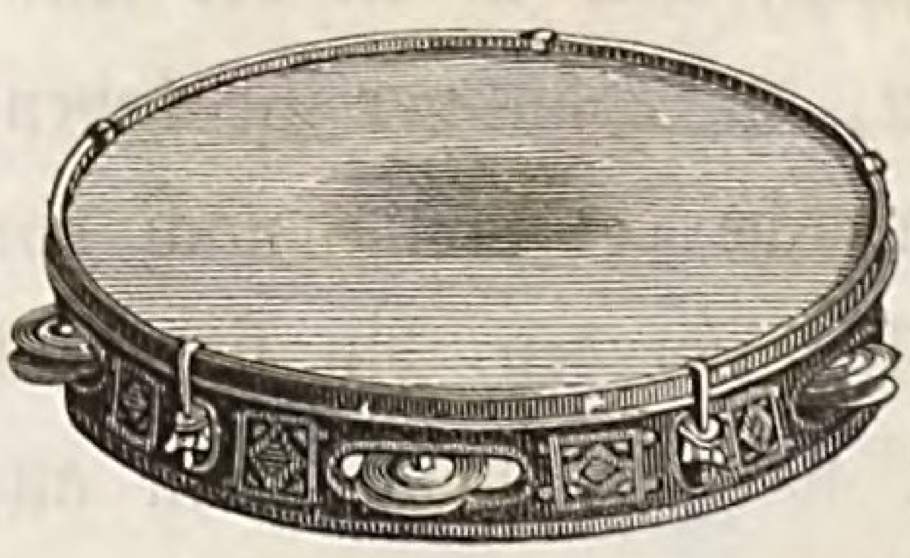


Fig. 82. Handtrommel.

Die Trommel der europäischen Heere (Fig. 83) besteht aus einem mehr oder weniger hohen, hohlen Cylinder aus Blech oder Holz, über den auf beiden Seiten Häute gespannt sind; um diese Häute straffer anziehen oder etwas nachlassen zu können, sind sie beiderseits durch übergreifende Ringe gefaßt, welche durch ein System von Fäden, die sich außen an der Trommel befinden, einander genähert werden können. Das Fell an der oberen Seite, welches mit zwei Klöppeln geschlagen wird, ist etwas stärker, als das untere, das nur durch die Vermittelung der eingeschlossenen Luftmasse mit in Schwingung geräth. Ueber diese untere Membran sind noch zwei starke Darmsaiten gespannt, gegen welche sie beim Schwingen schlägt, wodurch das eigenthümliche, rasselnde Geräusch entsteht, das den Klang der Trommeln kennzeichnet. Man kann Trommeln von ver=

schiedener Größe zusammenstellen, welche auf die Töne des Accordes gestimmt sind, wenn man die Dimensionen derselben so abgleicht, daß sie

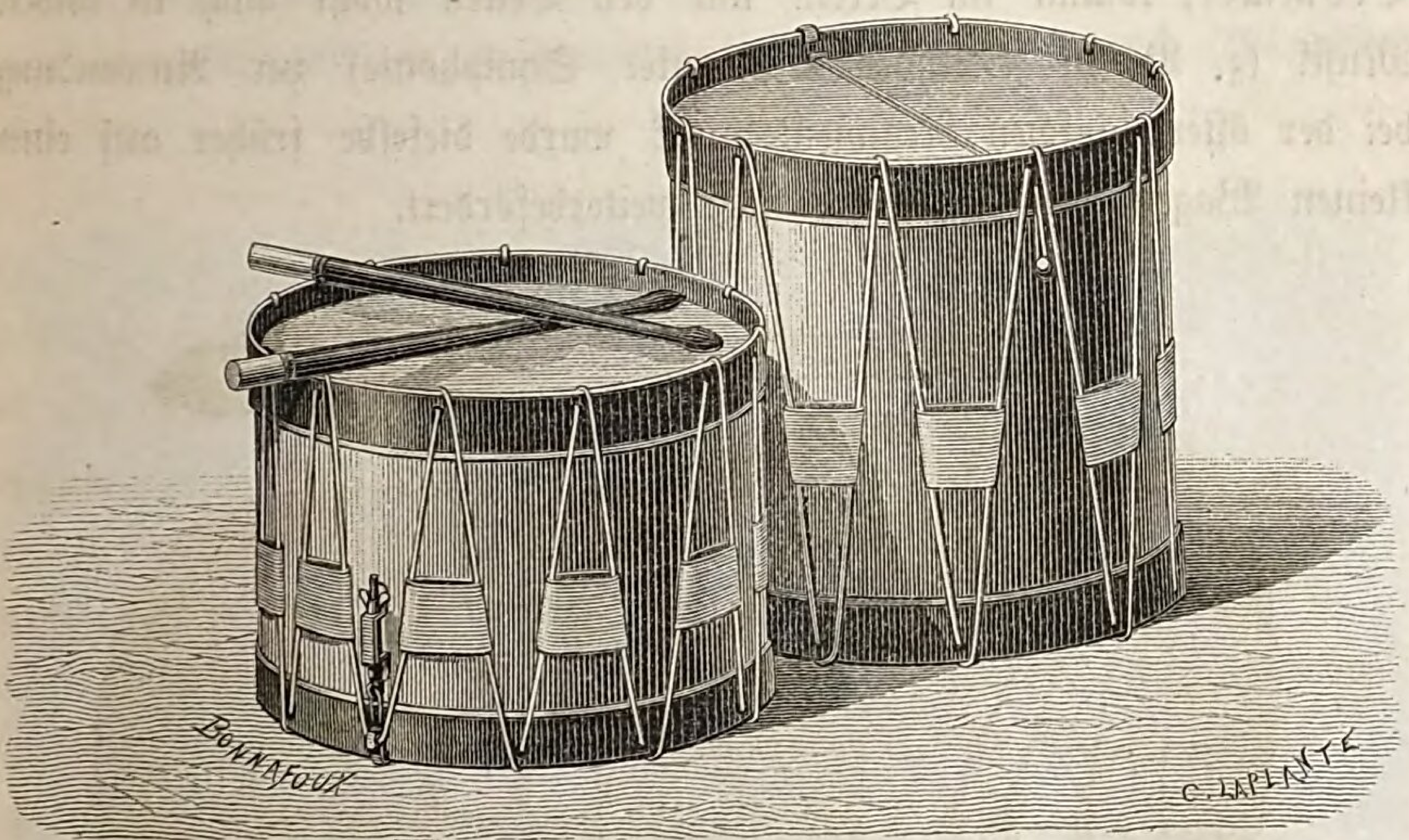


Fig. 83. Trommeln der Soldaten.

sich umgekehrt verhalten, wie die Schwingungszahlen: da nun diese Zahlen im Verhältnisse $1 : {}^5/_4 : {}^3/_2 : 2$ stehen, so muß das Verhältniß der Höhen der Trommeln $30 : 24 : 20 : 15$ sein. Allein, da die Trommeln immer

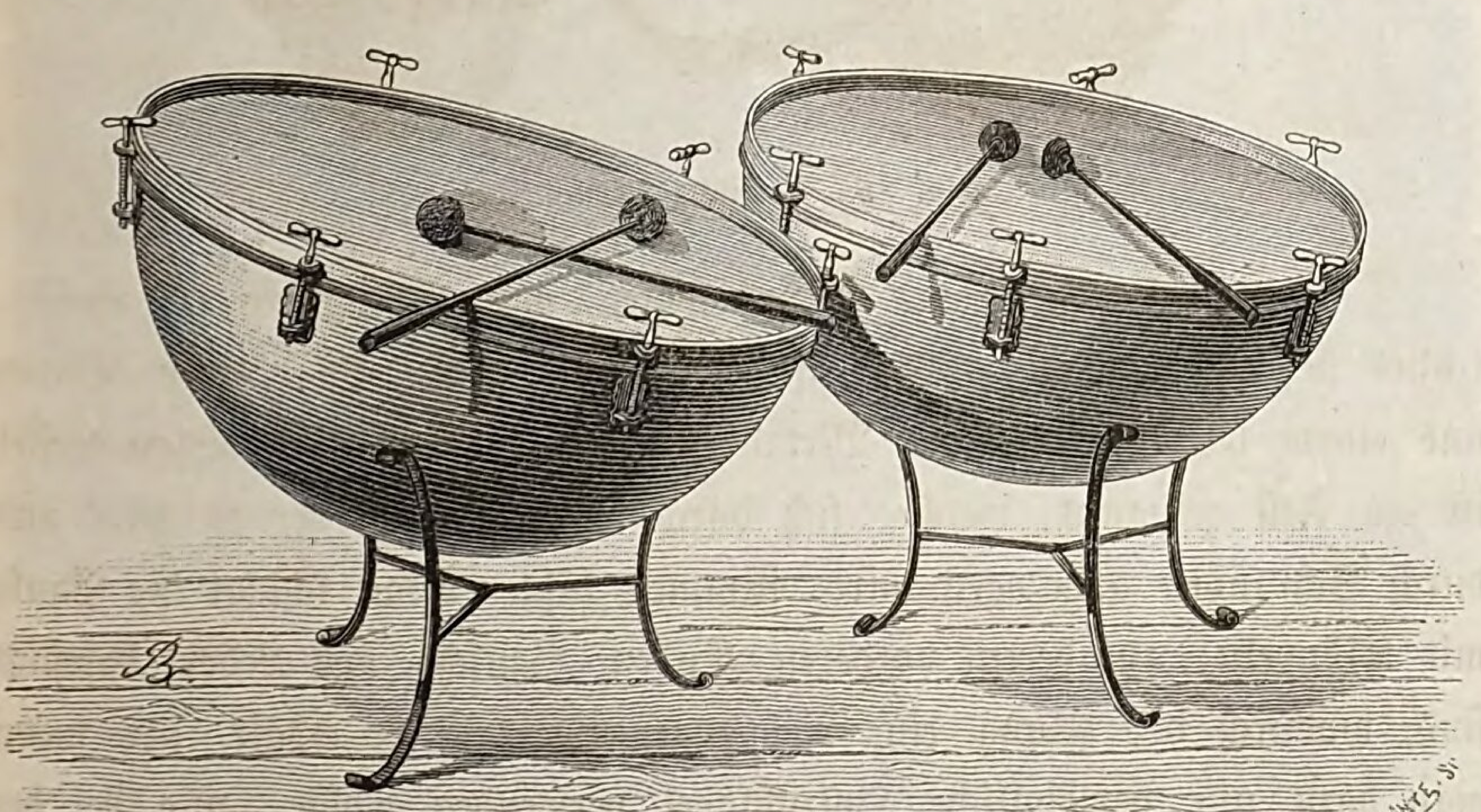


Fig. 84. Pauken.

einen sehr rauhen Ton haben, so werden sie wohl niemals eine andere Verwendung finden, als in der Musik von ausgeprägt militärischem Charakter oder für das Signalgeben im Heere: für letztere Zwecke sind sie

aber auch unersetzlich. Nur eine Trommel von ziemlich bedeutender Größe, deren Körper horizontal auf einem Gestelle ruht, die sogenannte große Trommel, kommt im Verein mit den Becken wohl auch in anderer Musik (z. B. in Beethoven's neunter Symphonie) zur Anwendung: bei der österreichischen Regimentsmusik wurde dieselbe früher auf einem kleinen Wagen, den ein Hund zog, weiterbefördert.



Fig. 85. Persische Trommeln.

Das einzige unter diesen Instrumenten, das wirklich als ein musikalisches bezeichnet werden kann, ist die Pauke (Fig. 84), deren Körper aus einem halbkugelförmigen Metallkessel gebildet ist: über diesen Kessel ist ein Fell gespannt, welches sich durch einen Reifen, der es hält und durch Schrauben angezogen wird, stimmen läßt. Man schlägt die Pauke mit Klöppeln, an deren vorderen Enden Bausche aus Leder befestigt sind, wodurch der Klang eine viel angenehmere Fülle erhält, als wenn man dazu nur gewöhnliche Holzschlägel verwenden wollte, wie bei der Trommel. In der Regel verwendet man im Orchester zwei Pauken, von denen die eine auf den Grundton des Stückes, die andere vier Töne tiefer gestimmt wird. Auch in der Musik der Reiterregimenter finden wir die Pauken, und vielleicht ist dies der erste Fall, in dem sie überhaupt zur Anwendung gekommen sind: dieselben werden zu beiden

Seiten am Sattelknopfe des Paukenschlägers befestigt, welcher sich die Zügel seines Pferdes an den Beinen befestigen muß, da er beide Hände für sein Instrument gebraucht.

Die trommelartigen Instrumente sind sehr alt und auch jetzt findet



Fig. 86. Japanische Musikinstrumente: Der Hing=kou.

man sie hauptsächlich bei allen halbcivilisirten Völkern in weit ausgebreiteterem Gebrauche, als bei den Völkern Europa's. Wir theilen in Fig. 85 die Abbildung persischer Trommeln, in Fig. 86 aber die Darstellung eines japanischen Orchesters mit, in welchem auch der Hing=kou, eine kleine Trommel, die auf einem Gestelle mit zwei Füßen ruht, einen wesentlichen Bestandtheil bildet.

Drittes Kapitel.

Die Saiteninstrumente.

§ 1. Saiteninstrumente der Alten.

Die Saiteninstrumente sind schon von den frühesten Zeiten an bekannt, und sowohl auf den ältesten bildlichen Darstellungen, die uns z. B. in den Sculpturen Aegyptens erhalten sind, finden wir sie im Gebrauche, als ihrer auch in den ältesten Schriftstücken, die uns erhalten worden sind, Erwähnung geschieht. Vielfach treten die Namen dieser Instrumente in der Bibel auf, wo deren Erfindung in sehr frühe Zeit verlegt und dem Jubal zugeschrieben wird, ja es ist sogar eines der wichtigsten Bücher, der Psalter, nach ihnen benannt; sie dienen beim Gottesdienste und bei weltlichen Festen, und zugleich wird ihnen auch

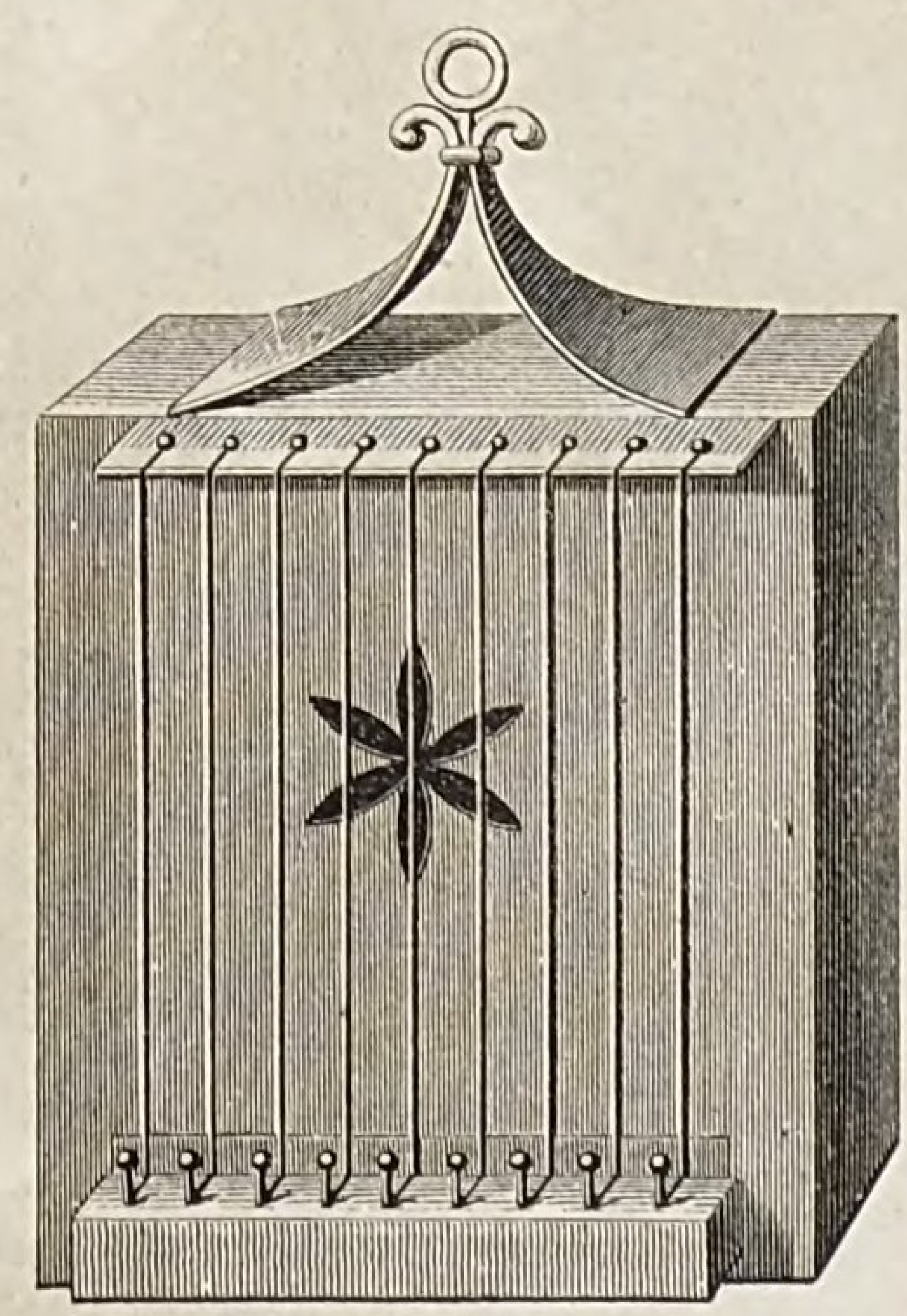


Fig. 87. Nebel Assor.

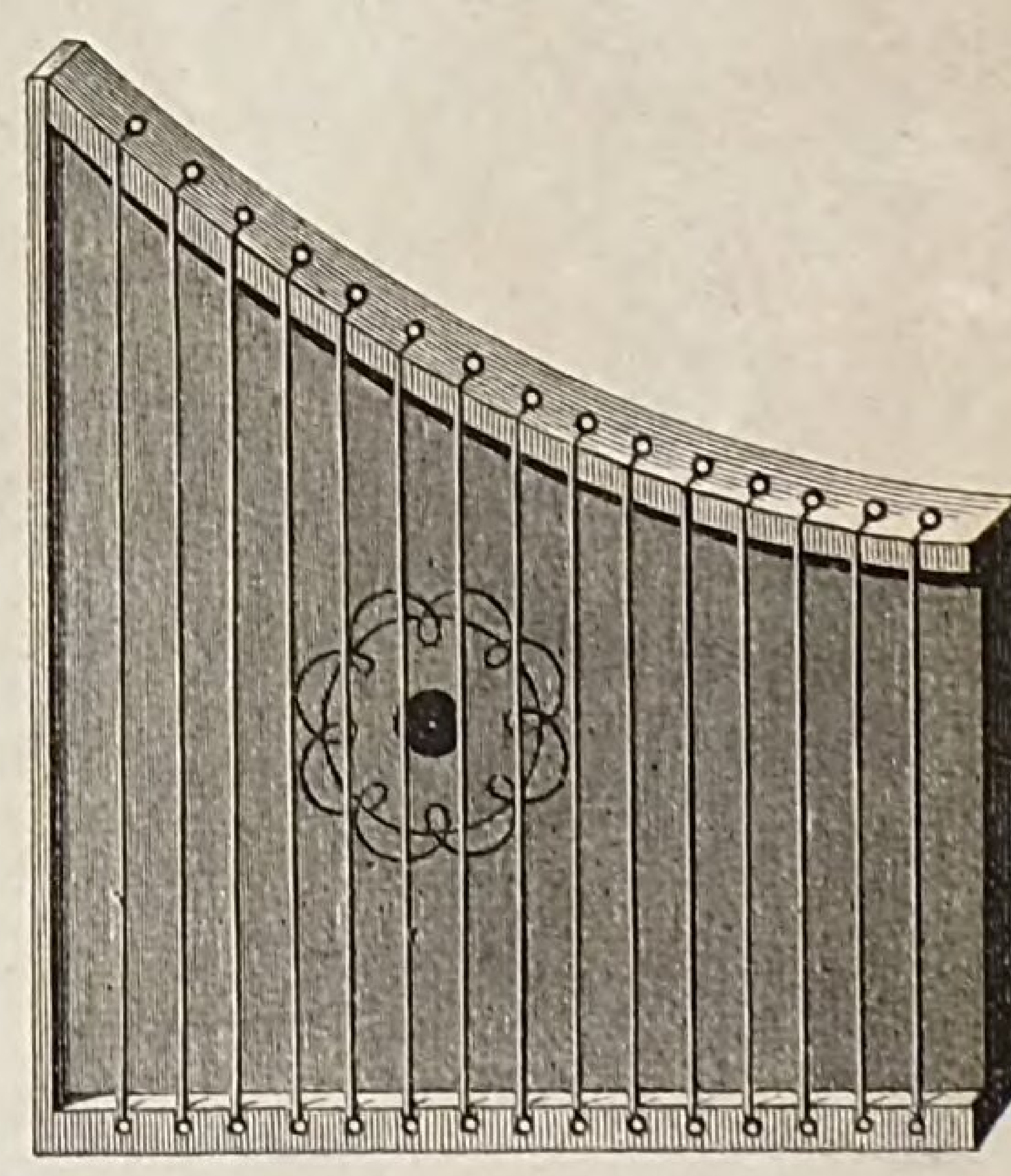


Fig. 88. Nebel.

eine beruhigende Wirkung zugeschrieben, wie sich aus der Erzählung von Saul und David erkennen läßt. Unter den Saitenspielen der Hebräer finden wir zunächst den Nebel Assor (Fig. 87) und den Nebel (Fig. 88), der Zither ähnliche Instrumente mit 10—12, oder auch mehr Saiten, die über einen Resonanzkasten ausgespannt waren und mit den Fingern gezupft wurden; ferner das Psanterin oder Psalterium (Fig. 89), ein dreieckiger Kasten, über welchen eine ziemliche

Anzahl von Saiten gespannt war, die Sabka oder Sambuca (Fig. 90), ein kleines harfenartiges Instrument mit vier oder mehr Saiten, die einen ziemlich scharfen Ton gaben, und endlich den Kinnor, auf welchem

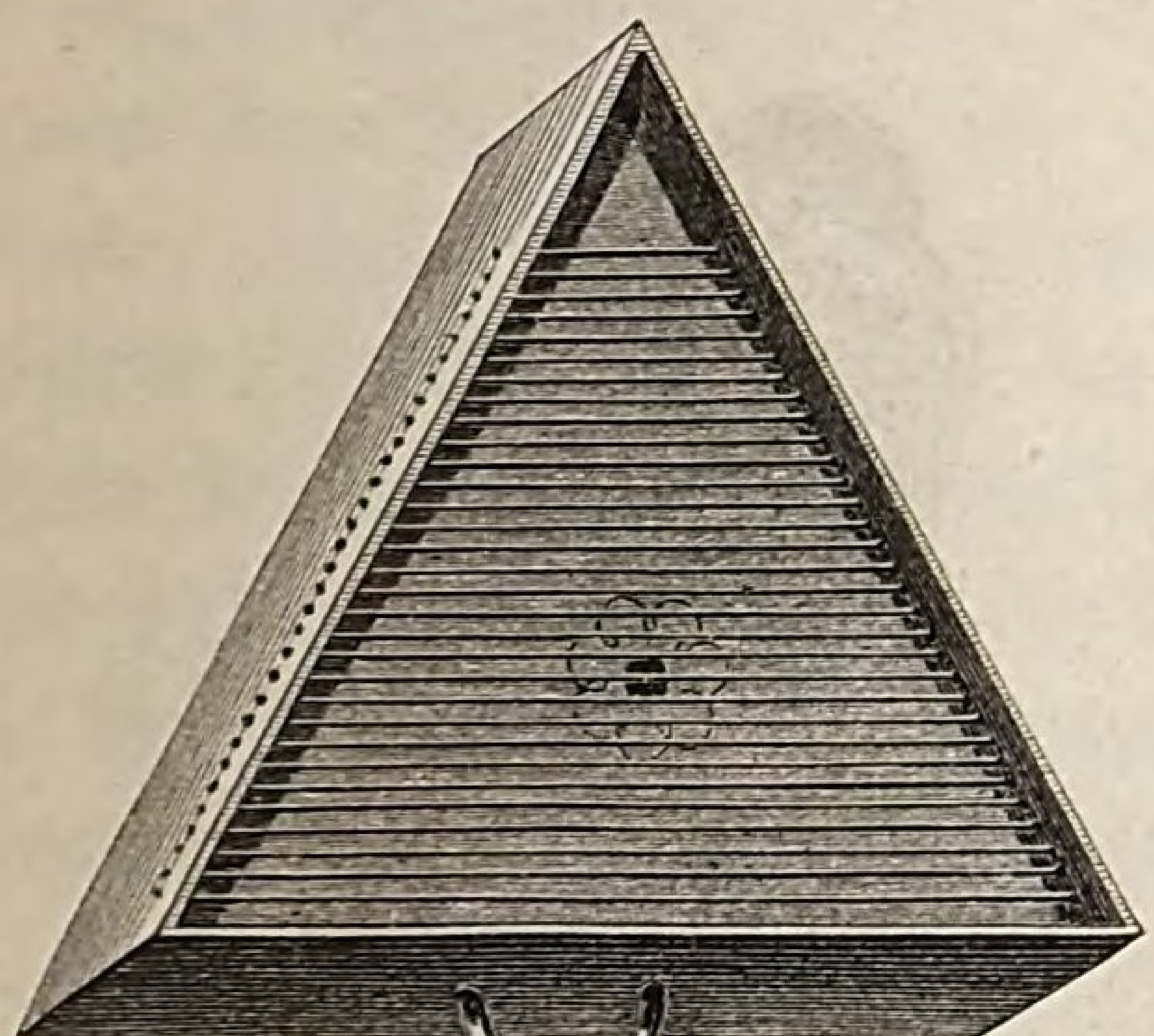


Fig. 89. Psalterium.

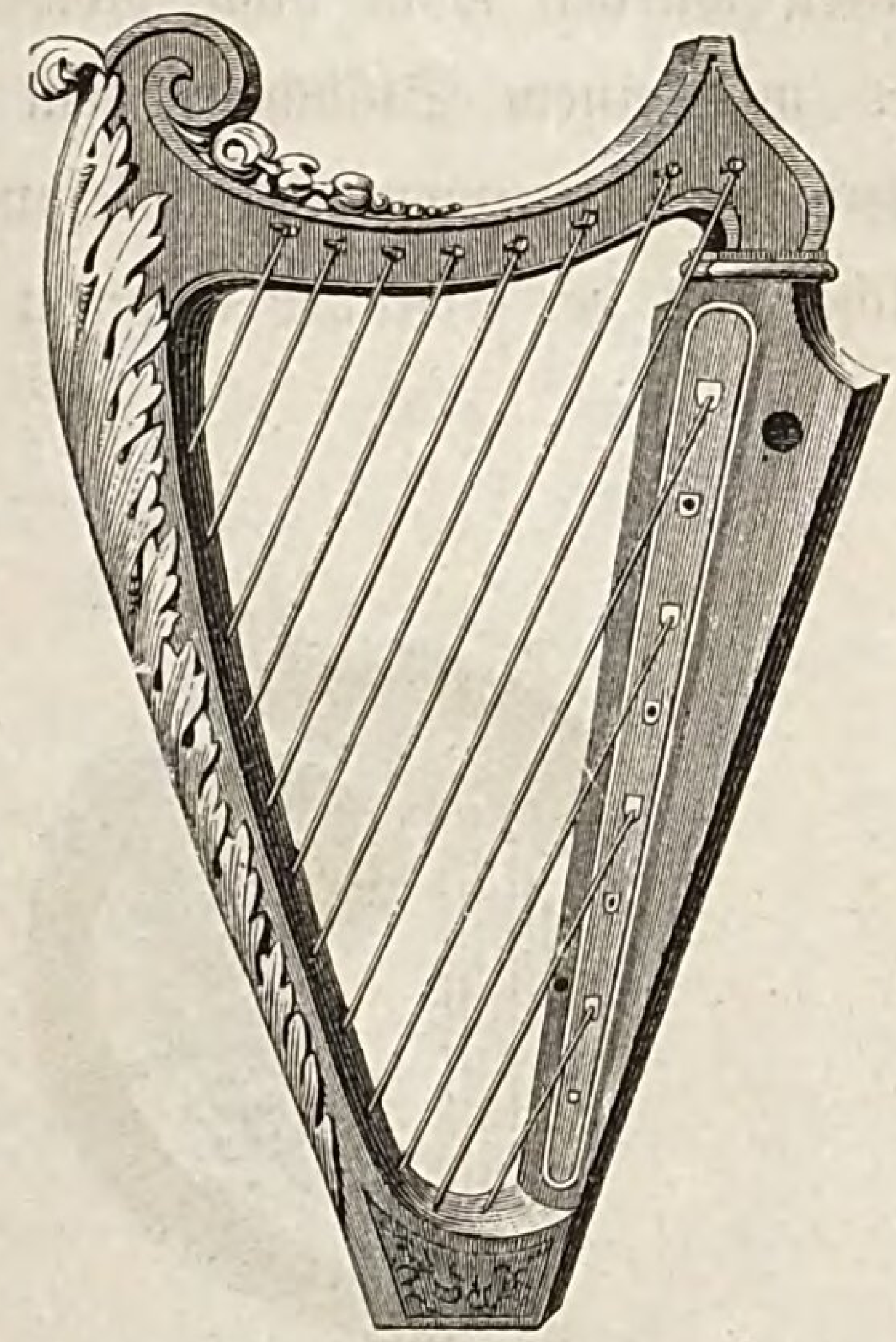
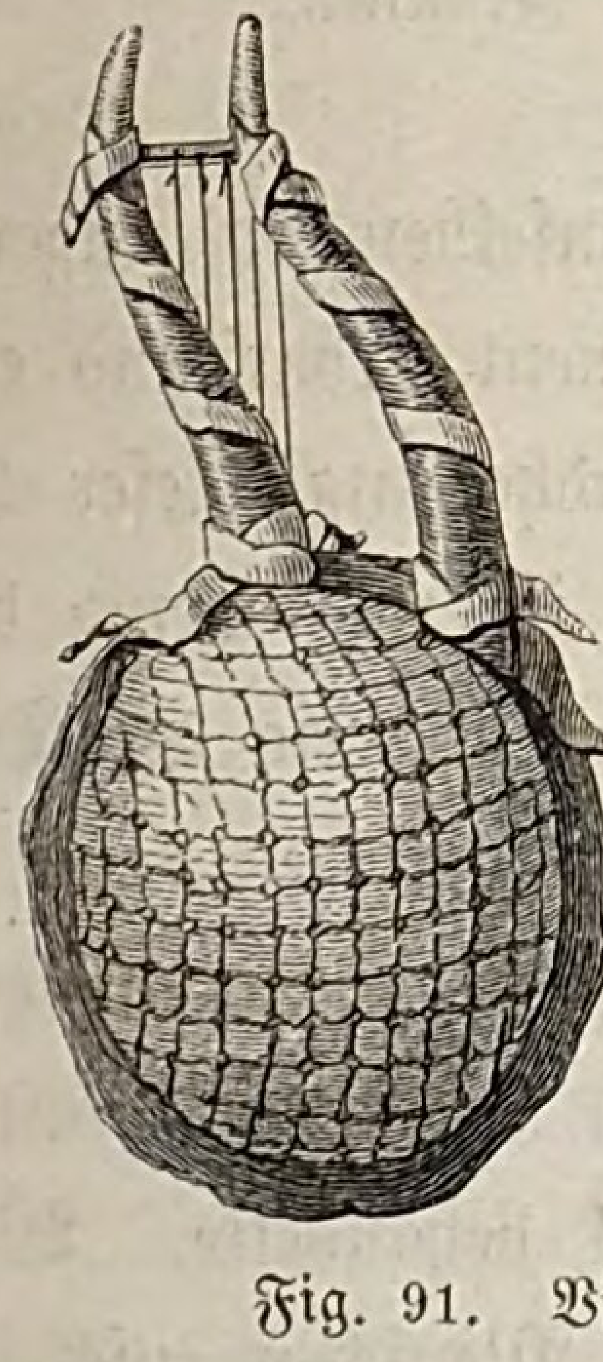


Fig. 90. Sambuca.

König David Meister war, vermuthlich ein Instrument, das unserer Guitarre oder Laute glich und dessen Saiten bald mit dem Finger gezupft, bald mit einem Stäbchen gerissen wurden.



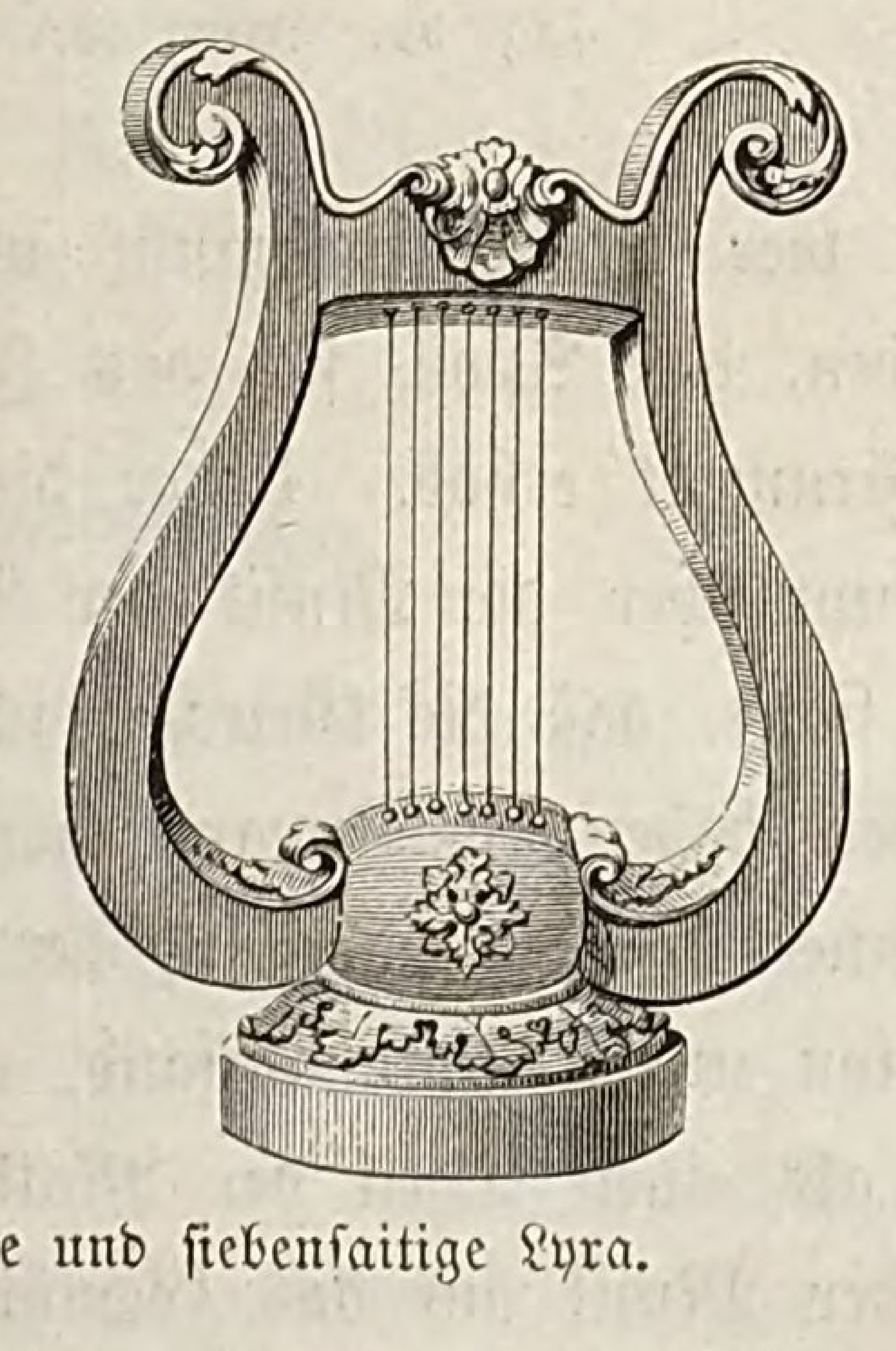


Fig. 91. Viersaitige und siebensaitige Lyra.

Auch die Saiteninstrumente der Griechen, die Lyra und Zither (Fig. 91 und 92), hatten eine ähnliche Einrichtung: über einen Rahmen, der in späteren Zeiten häufig sehr kunstvoll gearbeitet wurde, oder auch

über einen hohlen Resonanzkasten waren vier, fünf, sieben oder noch mehr Saiten gespannt, welche verschiedene Stimmung erhielten nach Gesetzen, die wir nicht vollständig und mit aller Sicherheit feststellen können; die Saiten wurden wohl auch bisweilen mit dem Finger gezupft, meistens aber mit einem Stäbchen, dem Plektrum gerissen. Der Sage nach sollen die Instrumente mit Resonanzkasten die älteren sein, denn Mercur, welcher als der Erfinder genannt wird, soll zuerst über die Schale einer

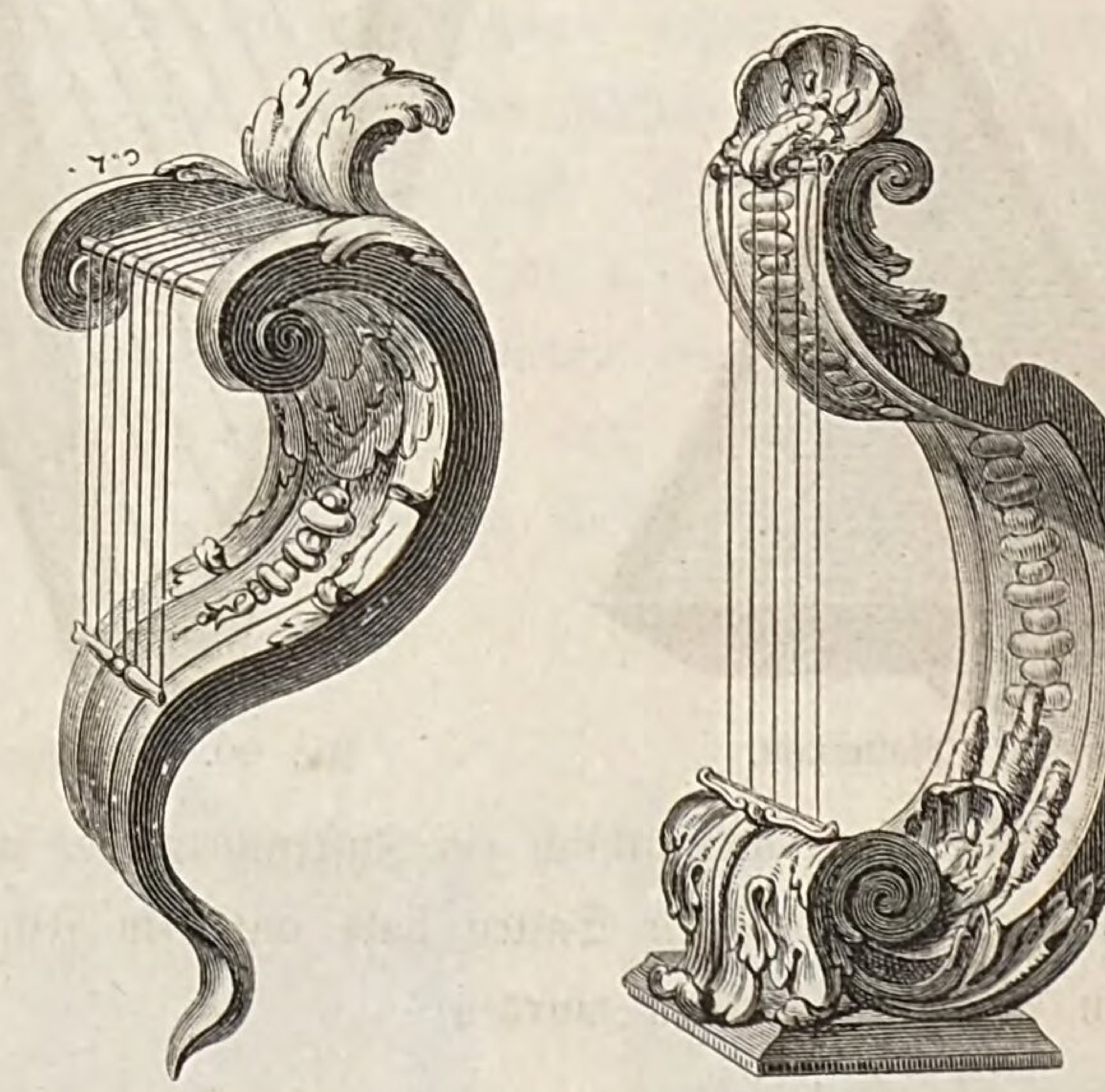


Fig. 92. Lyren oder Zithern der Alten.

Schildkröte vier Saiten gespannt und denselben so angenehme Töne entlockt haben, daß Apoll sich das Instrument erbat und es zu seinem Lieblingsinstrument erhob. Ueber die Handhabung dieser Instrumente, wie überhaupt über die Musik der Alten, ist uns wenig bekannt; nur so viel ist sicher, daß die Griechen schon die Theorie der Tonkunst sehr weit gefördert haben; was man schon daraus ersehen kann, daß sich so ernste Männer, wie Pythagoras, der zuerst die Schwingungsverhältnisse von Grundton und Quinte auffand, mit ihr beschäftigten, und daß Plato die Musik als einen Theil der Mathematik behandelte. Welche Macht die Alten der Musik auf das Gemüth des Menschen zuschrieben, erhellt aus den bekannten Sagen von Orpheus und Arion: ging man doch sogar so weit, daß man gewisse Tonarten geradezu verbot, weil sie zur Verweichlichung beitragen sollten.

Aus diesen einfachen Anfängen haben sich nun im Laufe der Jahrhunderte die zahlreichen Saiteninstrumente entwickelt, welche wir jetzt im Gebrauche haben und zu deren Betrachtung wir uns nunmehr wenden; bei der Umwandlung derselben aber sind hauptsächlich zwei Punkte zu beachten gewesen: einmal hat es sich nöthig gemacht, den Schall der Instrumente zu verstärken, was durch Resonanzböden und Resonanzkästen bewirkt wird, und zweitens hat die Umgestaltung der Instrumente mit der ganzen Entwickelung unserer Musik Schritt halten müssen. Denn während man im Alterthum nur die homophone Musik kannte, bei der eine einzige Melodie ganz ohne oder doch wenigstens mit höchst spärlicher Begleitung auftrat, bei der z. B. die Instrumente immer genau dasselbe spielten, was die Singstimme sang: so ist unsere Musik durchaus theils polyphon, theils harmonisch, d. h. es treten im ersteren Falle eine Anzahl Stimmen neben einander auf, deren jede ihren besonderen Gang geht, doch so, daß diese verschiedenen Wege ein, wenn auch bisweilen sehr verschlungenes Ganzes bilden, oder im anderen Falle wird eine Hauptstimme, welche die Melodie trägt, durch mehrstimmige Accorde begleitet. Zu diesem Zwecke mußte schon jedes einzelne Instrument eine Vielseitigkeit bekommen, von der die Alten absehen konnten.

Wir theilen die Instrumente nach der Art, in welcher sie zum Tönen gebracht werden, ein in Streichinstrumente oder Geigen, in solche, bei denen die Saiten mit dem Finger gerissen werden, zu denen Guitarre und Harfe gehören, und in Hammerinstrumente oder Claviere, und werden sie in dieser Reihenfolge betrachten.

§ 2. Die Geige.

Wie bei der Mehrzahl der Saiteninstrumente hat man auch bei der Geige oder Violine zwei Hauptheile zu unterscheiden, die bei der Entwickelung des Tones zur Mitwirkung kommen: nämlich einmal den eigentlichen Tonerzeuger, durch dessen Schwingungen die Schallerscheinungen ursprünglich hervorgerufen werden und von dem sie ihren Ausgangspunkt nehmen, das ist das System der Saiten, die durch den Bogen in Bewegung versetzt werden, und den Resonanzkasten, der die Töne verstärkt und ihnen den eigenthümlichen Klang verleiht, das ist der Körper der Geige, an dem die Saiten befestigt sind. Dieser Köper, der aus Holz ver-

fertigt ist, sowie die in ihm eingeschlossene Luftmasse geräth beim Klingen der Saiten mit in Schwingungen und verleiht den Tönen die Stärke, das Markige und Volle und zugleich auch das Weiche und Abgerundete,

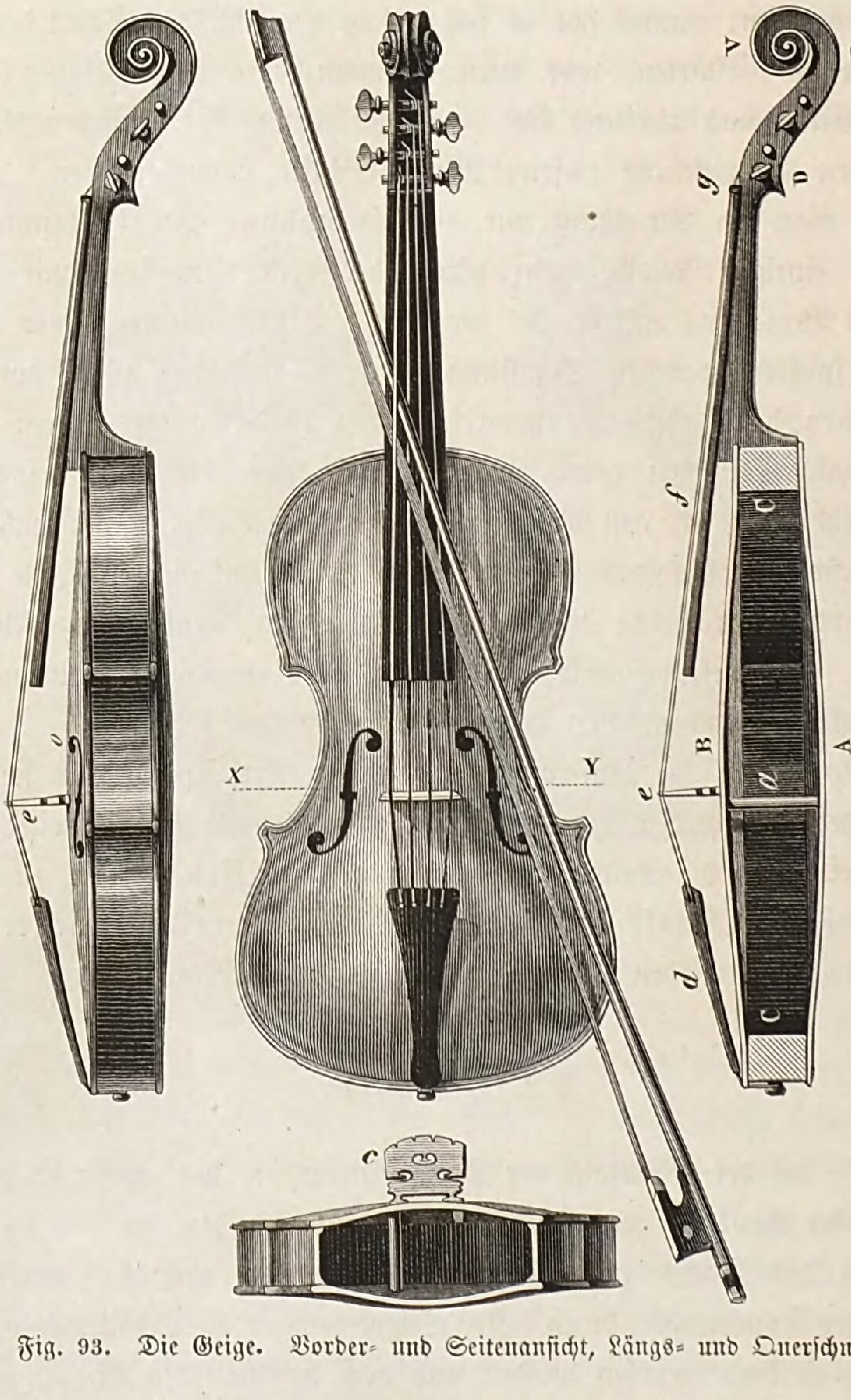


Fig. 93. Die Geige. Vorder- und Seitenansicht, Längs- und Querschnitt.

kurz, alle die Eigenschaften, welche den eigenthümlichen Klang des Instrumentes ausmachen. Alle diese Theile lassen sich in Fig. 93 deutlich erkennen und wir wollen unsere Besprechung an die Abbildung anschließen.

Der Körper der Violine, welcher zugleich auch zur Verstärkung des Tones dient, besteht aus zwei in der Mitte nach Außen gekrümmten, ähnlich gestalteten Holzdeckeln A und B, welche beiderseits eine tiefe Ausschweifung haben, in der sich der Bogen ungehindert bewegen kann. Der untere Deckel oder der Boden besteht aus einem harten, astfreien Holze von recht gleichartiger Structur, z. B. aus Ahornholz, ebenso wie die Randbreter, welche beide Deckel mit einander verbinden und Zarge heißen; die obere Decke wird dagegen aus einem weicheren Holze, z. B. aus Fichten- oder Cedernholz verfertigt und unten und oben durch Klötze CC gestützt, deren letzterer einen runden Stab aus Ahornholz, den Hals der Geige trägt. In dieser Decke befinden sich in dem schmalsten Theile XY zwei Oeffnungen o, welche die Form des Buchstaben f haben und Schalllöcher genannt werden, und auf ihr ruht auf zwei Füßen ein kleines Stück Holz, der Steg e, welches nach ganz bestimmten, von der Praxis vorgeschriebenen Linien ausgesägt ist und als Träger für die vier Saiten dient. Die Saiten sind am unteren Ende an einem schmalen Stück Holz, dem Saitenhalter d, durch Schlingen befestigt, dieser selbst aber wird mittels einer Schleife an einem Knopfe befestigt, welcher am unteren Klotze C festsitzt. Von hier aus ziehen sich die Saiten über den Steg und eine kleine Wulst aus Holz oder Elfenbein am oberen Ende des Halses, den Sattel g, hinweg bis zu den Wirbeln, um welche sie geschlungen sind und durch welche sie gestimmt werden können. Die Wirbel liegen in dem sogenannten Wirbelkasten DE am oberen Ende des Halses, der schließlich in eine kleine Verzierung, die Schnecke, ausläuft. Zwischen Sattel und Steg ist auf dem Halse noch ein etwas gewölbtes Bretchen aus Ebenholz, das Griffbret f aufgeleimt, welches sich noch unterhalb des Halses ein großes Stück über den Körper der Geige hinzieht, ohne denselben zu berühren. Endlich befindet sich noch im Innern des Körpers ein auf-

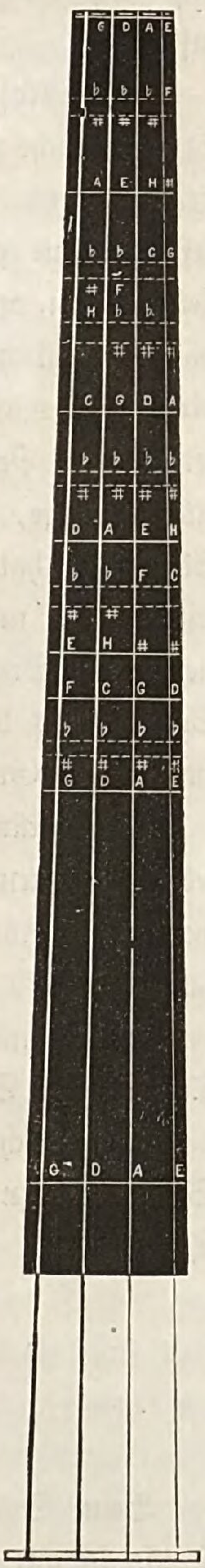


Fig. 94. Uebersicht der Töne auf der Geige.

rechtstehendes Stäbchen, die Stimme a, welches die Decke stützt, und zwar ungefähr an der Stelle, wo der linke Fuß des Steges, d. h. der Fuß auf der Seite, über welche sich die stärkste Saite hinwegzieht, aufsitzt.

Dieser Kasten mit seinen verschiedenen Theilen trägt nun die vier Saiten, welche zwar von gleicher Länge aber von verschiedener Dicke sind: dieselben sind alle aus Därmen verfertigt, die stärkste aber, welche die tiefsten Töne giebt, ist mit Silberdraht umsponnen, wodurch sie einen viel volleren, metallischen Klang erhält; die höchste Saite nennt man gewöhnlich schlechtweg die Quinte, eine Bezeichnung, die erst verständlich wird, wenn man zum Vergleiche das nächst tiefere Instrument, die Bratsche, heranzieht. Beide Instrumente stehen nämlich mit einander in dem Zusammenhange, daß die drei tiefsten Saiten der Geige genau dieselbe Stimmung haben, wie die drei höchsten Saiten der Bratsche, so daß die erste, zweite und dritte Saite der Geige gleich der zweiten, dritten und vierten der Bratsche ist; daher nimmt die vierte Saite der Geige in dem System, das beide Instrumente umfaßt, die fünfte Stelle ein und hat aus diesem Grunde ihren Namen erhalten.

Durch stärkeres Anziehen des entsprechenden Wirbels wird der Ton jeder einzelnen Saite erhöht, durch Nachlassen aber erniedrigt, sodaß man im Stande ist, durch sehr geringe Drehungen die Stimmung abzugleichen und zu berichtigen. Man stimmt die Saiten nach Intervallen von ganz reinen Quinten, und zwar giebt man der dritten Saite den Ton a′ der Stimmgabel, spannt sie also so, daß sie in einer Secunde 435 Doppelschwingungen macht, vorausgesetzt, daß man die neue Pariser Stimmung zu Grunde legt. Die vier Saiten müssen also folgende Töne geben:

1. Saite (übersponnen)	g
2. „	d′
3. „	a′
4. „ oder Quinte	e″

Beim Spielen faßt man mit der linken Hand den Hals nahe am Kopfe so an, daß man die Saiten leicht mit den Fingern niederdrücken kann, und lehnt den Körper der Geige zwischen Kinn und linkem Schlüsselbein an; mit der Rechten führt man den Bogen und streicht mit demselben die Saiten immer rechtwinklig zu ihrer Richtung und parallel zur Ebene

des Steges, indem man bald stärker, bald weniger stark aufdrückt, und indem man den Bogen bald in voller Breite, bald nur mit seiner schmalen Kante über die Saiten gleiten läßt. Will man auf derselben Saite höhere Töne hervorbringen, so drückt man sie mit den Fingern der linken Hand gegen das Griffbret, und zwar sind in Fig. 94 die Stellen bemerklich gemacht, wo man den Finger aufsetzen muß, wenn der beigeschriebene Ton erklingen soll: in der gegebenen Uebersicht bezieht sich das Zeichen b immer auf den darunter, das Zeichen ♯ auf den darüber stehenden Ton, und man erkennt leicht, daß man die sogenannte enharmonische Verwechselung, z. B. zwischen Cis und Des, welche auf den Tasteninstrumenten unvermeidlich ist, auf der Geige recht wohl umgehen kann; im Allgemeinen ist Cis etwas höher zu spielen, weil es nach D
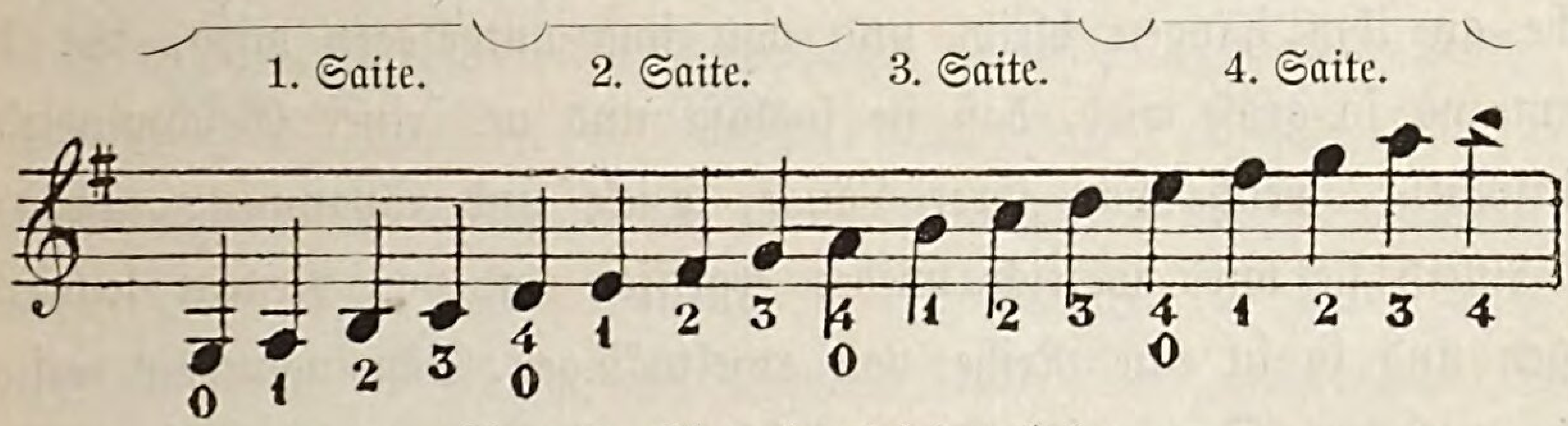


Fig. 95. Fingersatz bei der Geige.

überleitet, als Des, das nach C führt, und so in allen entsprechenden Fällen. Der Fingersatz, welcher in der G-dur-Tonleiter anzuwenden ist, läßt sich aus Fig. 95 ersehen: zu bemerken ist nur, daß der Daumen niemals zur Anwendung kommt, und daß folglich der Zeigefinger mit 1 bezeichnet wird. Man sieht, daß man alle diese Töne hervorbringen kann, ohne die linke Hand von dem Sattel zu entfernen: der Zeigefinger bleibt in der Nähe desselben und an ihn schließen sich die anderen Finger unmittelbar an, ja es ist nicht einmal nöthig, den kleinen Finger, der mit der Zahl 4 bezeichnet ist, zu benutzen; die Hand bleibt, wie man sich ausdrückt, in der ersten Lage. Selbstverständlich kann man aber auch höhere Töne auf jeder Saite hervorbringen, wenn man sie weiter verkürzt, und in Fig. 94 sind die Stellen bezeichnet, wo der Finger aufgesetzt werden muß, wenn die erste oder zweite Octave des Grundtones erklingen soll: und hierauf beruht ja das bekannte Kunststück, ein Musikstück nur auf der G-Saite zu spielen; auch wenn mitten in der Aufführung die Quinte reißt, was bei aller Vorsicht doch einmal vorkommen

kann, sieht sich der Spieler genöthigt, auf der A-Saite weiter zu spielen, bis Ersatz geschafft ist.

Das Spielen der Geige wird fast immer durch Streichen der Saiten mit dem Bogen ausgeführt, nur bisweilen an bestimmt vorgeschriebenen Stellen tritt eine andere Spielart ein, das Pizzicato, welches durch Reißen der Saiten mit dem Finger ausgeführt wird. Der Bogen besteht aus einem langen, dünnen Stabe aus einer sehr zähen und elastischen Holzart, am besten aus Fernambukholz, der an seinem Ende umgebogen ist: hier sind an ihm eine Anzahl Roßhaare befestigt, welche andererseits an einem ausgekehlten, viereckigen Holzstücke, dem Frosch festsitzen, der am unteren Theile des Stabes durch eine Schraube straff angezogen werden kann. Beim Gebrauche bestreicht man den Bogen mit Kolophonium und führt ihn sehr gleichmäßig über die Saite hinweg, welche an ihm hängen bleibt und von ihm mitgezogen wird, bis ihre Spannung so groß wird, daß sie losläßt und mit einer Geschwindigkeit zurückschnellt, welche von ihrer Länge, Dicke und Spannung abhängig ist. Allein sie wird sogleich wieder ergriffen und von Neuem seitwärts gezogen und so in eine Reihe von regelmäßigen Schwingungen versetzt, welche unserem Ohre als Klang erscheinen. Doch auch diese Klänge sind keineswegs einfache Klangerscheinungen, sondern es lassen sich bei aufmerksamem Hören eine ganze Reihe von Obertönen unterscheiden. Einem geschickten Spieler gelingt es sogar zu bewirken, daß sich die Saite selbst in mehrere Abtheilungen theilt und dadurch viel höhere Töne giebt, als wenn der freigelassene Theil in seiner ganzen Länge schwingt. Setzt man z. B. den Zeigefinger fest auf die Saite auf, lehnt aber den kleinen Finger nur leise gegen die Saite an einer Stelle, welche ein Drittel des freibleibenden Stückes abgrenzt, so kann man dadurch, daß man mit dem Bogen nahe am Stege streicht, bewirken, daß die freibleibenden zwei Drittel nicht im Ganzen schwingen, sondern sich selbst wieder in zwei Abtheilungen theilen und dadurch einen Ton geben, der um eine Octave höher liegt. Die auf solche Weise gebildeten Töne heißen Flageolettöne.

Wenn die Saite allein zwischen ihren Stützpunkten, welche auf der einen Seite durch den Steg, auf der anderen durch den Sattel oder den aufgesetzten Finger gebildet werden, in Schwingungen geriethe, so würde ihr Ton mager, farblos und ohne Glanz sein: allein durch Ver-

mittelung des Steges wird die Bewegung weiter auf die Decke und von dieser aus durch die Zarge auf den unteren Boden übertragen, sodaß schließlich alle Theile des Instrumentes in oscillirende Bewegung gerathen. Für diese Uebertragung ist es besonders von Wichtigkeit, daß der linke Fuß des Steges durch die Stimme gestützt wird, während der rechte Fuß frei bleibt und als freier Arm eines Hebels auf die Decke drückt. Aber auch die eingeschlossene Luftmasse wird mit in Schwingungen versetzt, sodaß der Körper der Geige gleich einem Verstärkungsrohre von bedeutendem Querschnitte und geringer Länge wirkt, woraus sich erklären läßt, daß die Luftmasse ganz besonders einzelne Töne verstärkt, welche mit den Tönen, auf die der Kasten sozusagen gestimmt ist, übereinstimmen, sodaß dieselben besonders lebhaft erklingen. Damit die Schwingungen der eingeschlossenen Luft aus dem Innern des Körpers nach Außen übertragen werden, sind die Schalllöcher nothwendig, ohne welche der Klang der Geige nur ein sehr dumpfer sein würde; abgesehen von diesen beiden Oeffnungen in der Decke muß der Körper aber vollständig geschlossen sein, denn wenn man z. B. Oeffnungen in der Zarge anbringt, so wird der Ton, wie Savart durch sehr ausgedehnte Untersuchungen gezeigt hat, ziemlich mager und dieser Fehler wächst, je mehr man die Oeffnungen erweitert.

Wenn man über die Schalllöcher hinwegbläst, so hört man einen Ton von bestimmter Höhe, der durch das Schwingen der eingeschlossenen Luftsäule, sowie der beiden Deckel hervorgebracht wird; für sich allein sollen nach Savarts Rath Decke und Boden verschiedene Töne hervorbringen, welche um das Intervall eines ganzen Tones von einander abweichen; wollte man das Intervall kleiner wählen, so würden sich Schwebungen oder Stöße zeigen: bei größerem Intervalle aber würden sich die Töne nicht mit einander vereinigen. Im Ganzen macht der Deckel viel lebhaftere Schwingungen, als der Boden, welcher eigentlich nur als Abschluß für die mit Luft erfüllte Höhlung dient: deshalb verfertigt man jenen aus feinfaserigem, elastischem und leichtem Holze, während letzterer viel massiger und schwerer sein darf.

Einen sehr wesentlichen Theil für den Wohlklang der Geige bildet die Stimme, welche nach Savart bewirken soll, daß die Schwingungen des Deckels in senkrechter Richtung erfolgen. Um diese Ansicht durch den Versuch zu unterstützen, durchbohrte der genannte Physiker auch den

Boden einer Geige, zog dann die Roßhaare des Bogens durch diese Oeffnung und die Schalllöcher und zeigte, daß nun die Stimme überflüssig wurde, wenn die Saiten durch die Roßhaare in senkrechter Richtung gestrichen wurden, weil bei dieser Anordnung die Schwingungen schon in der erforderlichen Richtung erfolgten. Allein mit dieser Ansicht erklärt sich Daguin nicht einverstanden, sondern spricht sich folgendermaßen aus: „Bei dieser Erklärung begreift man nicht, warum die Stimme gerade unter dem einen Fuße des Steges angebracht werden muß und nicht in der Mitte. Auch müßte eine zweite Säule unter dem anderen Fuße die Wirkung vergrößern, während sie doch den Ton der Geige dämpft. Sollte nicht im Uebrigen die Zarge dieselbe Wirkung hervorbringen, als die Stimme? Nach diesen Betrachtungen scheint es uns, daß man die Wirkung der Stimme auf folgende Weise erklären muß: Die Stimme dient nur als Stützpunkt für den einen Fuß des Steges, um welchen derselbe schwingt, wobei er mit dem anderen Fuße gegen den Deckel stößt. Wäre der eine der Füße nicht in einem festen Punkte unterstützt, so würde er sich heben, während der andere niedersinkt, weil die Saiten nicht senkrecht zum Deckel wirken: denn der Bogen versetzt sie in eine sehr schräge Richtung und dadurch würde auch dem Stege eine transversale Bewegung ertheilt, wenn er nicht in einem Punkte unterstützt wäre.“ Hieraus ist auch zugleich der Grund ersichtlich, warum der Steg nur mit zwei Füßen, und nicht mit breiterer Linie auf dem Deckel ruht und warum er in so eigenthümlicher Weise ausgesägt ist: es kommt alles darauf an, ihm möglichste Leichtigkeit und Beweglichkeit zu verschaffen, ohne welche der helle Klang des Instrumentes bedeutend abgeschwächt werden würde. Soll einmal in einem Musikstücke der Klang sehr leise und dumpf werden, so bewirkt man dies dadurch, daß man die Masse des Steges durch Aufsetzen eines kleinen, kammartigen Holzes, welches Dämpfer oder Sordine genannt wird, vergrößert und dadurch seine Schwingungen schwerfälliger macht.

Savart, welcher sich viel mit dem Studium der Saiteninstrumente beschäftigt hat, stellte auch zahlreiche Untersuchungen an über den Einfluß, den die Gestalt des Körpers, sowie die Beschaffenheit des Stoffes ausübt, aus dem derselbe besteht: und so ist es ihm auch gelungen, eine Geige von trapezoidaler Form (Fig. 96) mit ebenen, geradlinig begrenzten Deckeln zu construiren, welche einen ganz leidlichen Ton hatte. Als

Material für die Geige zeigte sich Glas, Porcellan oder Metall durchaus ungeeignet: ganz sicher ist die specifische Leichtigkeit des Deckels, die faserige Beschaffenheit des Fichtenholzes, sowie seine Elasticität unerläßliche Bedingung für die Gleichmäßigkeit und Fülle des Klanges. Die geschicktesten Geigenmacher können selbst nichts weiter thun, als daß sie die Regeln ihrer Kunst, die ihnen überliefert worden sind, genau anwenden: durch lange Erfahrung und durch zahlreiche Versuche hat sich ergeben, wie sich die Dicke des Holzes an den einzelnen Punkten des Deckels ändern, von welcher Beschaffenheit das Holz selbst sein muß, in welchem Verhältnisse die einzelnen Theile des Instrumentes stehen und wie sie am geeignetsten an einander gefügt werden müssen, welcher Firniß sich am besten zum Ueberstreichen der Deckel eignet, und so noch viele andere Dinge, an deren wissenschaftliche Untersuchung vor der Hand noch kaum zu denken ist.

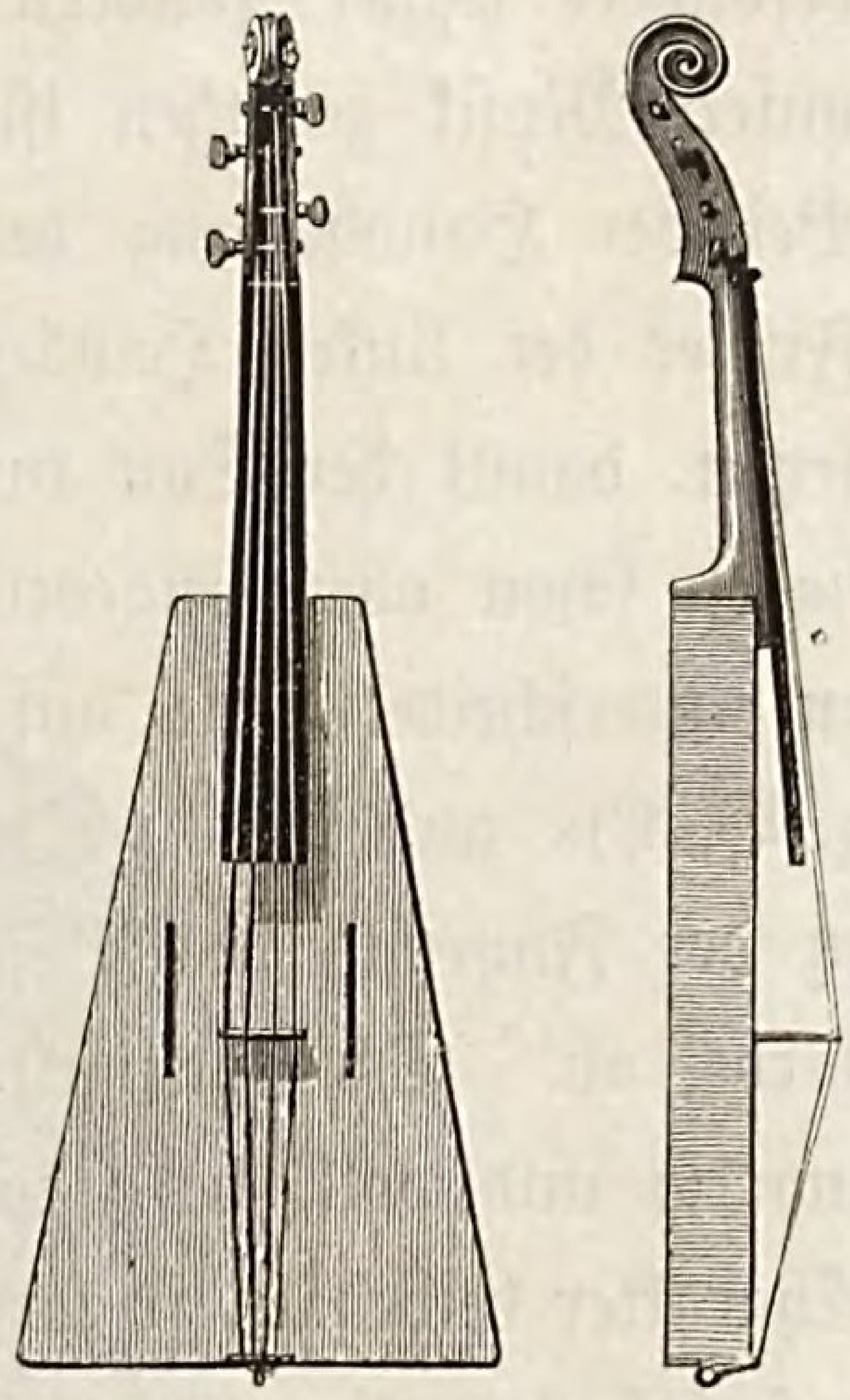


Fig. 96. Trapezoidale Geige von Savart.

Es ist bekannt, daß sehr alte Geigen, die im Besitze guter Spieler gewesen sind, mit sehr hohen Preisen bezahlt werden; denn sowohl die Geigenmacher, als auch die ausübenden Künstler sind der Meinung, daß sich die Elasticität der Holzfaser unter dem Einflusse eines regelmäßigen und geschickten Spieles zu weiterer Vollkommenheit entwickelt, und auch die Physiker haben keine Ursache, dem zu widersprechen. So sagt Helmholtz (Tonempfindungen, S. 146): „Ein guter Theil der Vorzüge der alten Violinen möchte aber wohl eben auf ihrem Alter und namentlich dem langen Gebrauche beruhen, welche beide auf die Elasticität des Holzes nur günstig einwirken können".

Unter allen handlicheren und dem großen Publikum zugänglicheren Instrumenten ist die Geige mit ihren nächsten Verwandten entschieden dasjenige, das die größte Mannigfaltigkeit der Klangfarbe besitzt, auf dem die feinsten Nüancirungen der Tonbildung möglich sind: gerade aber aus diesem Grunde einerseits und andererseits deshalb, weil die Höhe der einzelnen Töne nicht von vornherein gegeben ist, sondern erst durch das richtige Aufsetzen des Fingers gebildet werden muß, erfordert seine

Behandlung das feinste musikalische Gefühl, ist aber auch am geeignetsten, die Ausbildung des musikalischen Geschmackes zu fördern. Es ist daher im höchsten Grade zu bedauern, daß die Geige nicht mehr wie vor hundert Jahren das musikalische Hausinstrument ist, sondern daß es durch ein Instrument verdrängt worden ist, welches zwar in einer Beziehung einen viel größeren Reichthum an Tonfülle besitzt, das aber weder für die Ausbildung des Gehöres, noch überhaupt des musikalischen Geschmackes sich besonders eignet, sondern gewiß mancherlei Ab- und Irrwege, auf welche unsere Musik gerathen ist, mit verschuldet hat: wir meinen das Clavier. Bei der Handhabung der Geige ist zunächst darauf zu achten, daß die Finger der linken Hand sich ganz genau auf die richtigen Stellen aufsetzen, damit der Ton in aller Schärfe die richtige Höhe besitzt, und wir haben schon oben angedeutet, daß hier die Möglichkeit gegeben ist, Töne zu unterscheiden, die auf dem Claviere und der Orgel zusammenfallen, z. B. Cis und Des. Die rechte Hand dagegen muß große Geschicklichkeit in der Führung des Bogens entwickeln, denn hiervon hängt die Klangfarbe ab. Die geschickte Bogenführung bewirkt, daß der Ton bald markig und voll, bald zart und weich ist, besonders aber, daß er seinen Charakter beibehält, so lange er erklingt. Vor Allem ist darauf zu achten, daß sich der Bogen immer rechtwinklig zur Richtung der Saiten bewegt, denn ein Gleiten des Bogens in schräger Richtung gegen die Saiten hat leicht zur Folge, daß in denselben Längsschwingungen entstehen, die sich durch sehr schrille, unangenehme, hohe Töne bemerklich machen: eine Erscheinung, welche sich öfters zeigt, wenn Anfänger das Instrument spielen, und welche leicht von der Erlernung desselben abschrecken kann.

Alles, was wir von der Geige gesagt haben, gilt im Allgemeinen von den Instrumenten, die sich in ihrem Bau hauptsächlich nur durch ihre Größe von der Geige unterscheiden: in Fig. 97 sind diejenigen, welche bei uns am meisten im Gebrauche sind, nämlich außer der Geige selbst noch die Bratsche, das Violoncell oder Cello und der Contrabaß dargestellt.

Die Bratsche oder Viola (italienisch Viola di braccio, Armgeige, wovon beide Ausdrücke hergeleitet sind), ist nur etwas größer und stärker, als die Violine, wird aber in genau gleicher Weise, wie diese behandelt: ihre Saiten sind, wie schon früher erwähnt, auf die Töne c, g, d′, a′ gestimmt und die beiden tiefsten sind übersponnen. Das Violoncell

oder Cello dagegen ist von solcher Größe, daß es beim Spielen zwischen den Knieen gehalten werden muß, sodaß dadurch die höchste Saite vom Spieler aus nach Links hin zu liegen kommt, während sie bei der Geige nach Rechts hin liegt. Die Stimmung der Saiten ist genau um eine



Fig. 97. Geigenartige Instrumente: Geige, Bratsche, Violoncell und Contrabaß.

Octave tiefer, als bei der Bratsche, also C, G, d, a. Endlich der Contrabaß oder die Baßgeige besitzt solche Dimensionen, daß man ihn gegen den Boden stemmen muß, und seine Saiten sind von solcher Dicke, daß zu ihrem Stimmen einfache Wirbel nicht mehr ausreichen: daher sind die Wirbelköpfe aus Zahnrädern gebildet, in welche Schrauben ohne

Ende eingreifen, durch welche die Saiten straffer angezogen oder nachgelassen werden können. Die Grundtöne der vier Saiten bezeichnet man mit E, A, d und g, in Wirklichkeit aber klingen sie noch eine Octave tiefer. Auch für das Verkürzen der Saiten genügt in der Regel das Aufsetzen eines Fingers nicht, sondern man muß die Saiten gleichzeitig mit den vier Fingern der linken Hand gegen das Griffbret drücken.

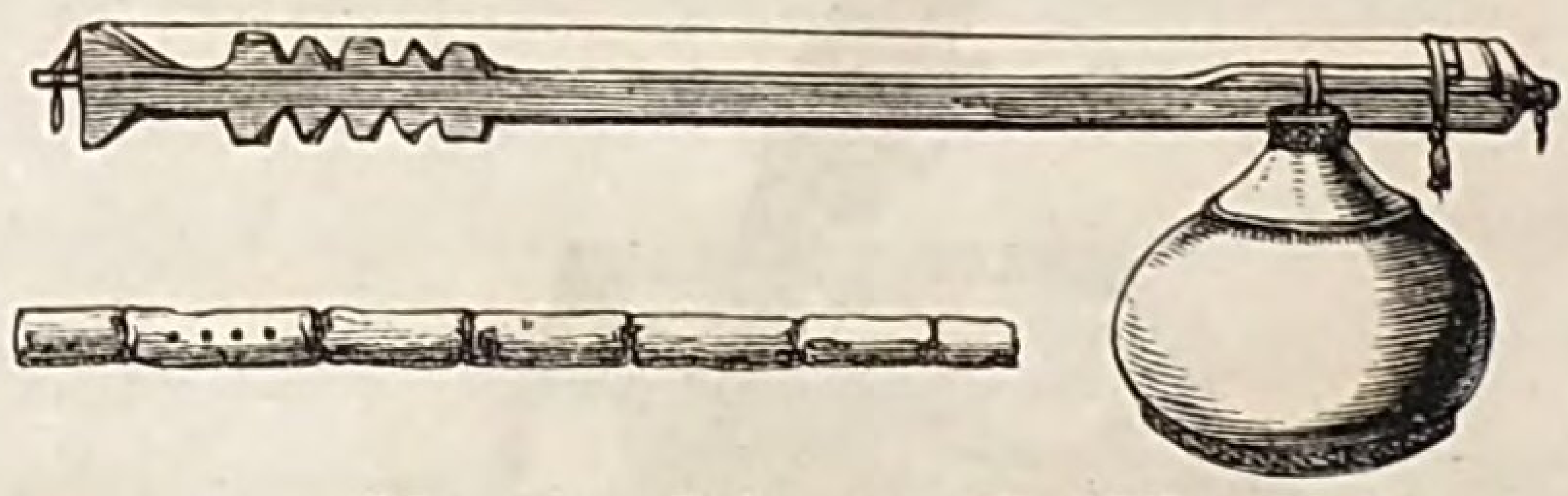


Fig. 98. Geige der Wadjiji.

Bei den größeren Musikstücken für Orchester bildet die Masse der Streichinstrumente gewöhnlich den eigentlichen Kern, und zwar findet man in den meisten Fällen in den Partituren zwei Geigen, Bratsche und Contrabaß verzeichnet: das Violoncell geht dann mit dem Contrabaß, spielt nur alles eine Octave höher, und tritt nur an einzelnen Stellen

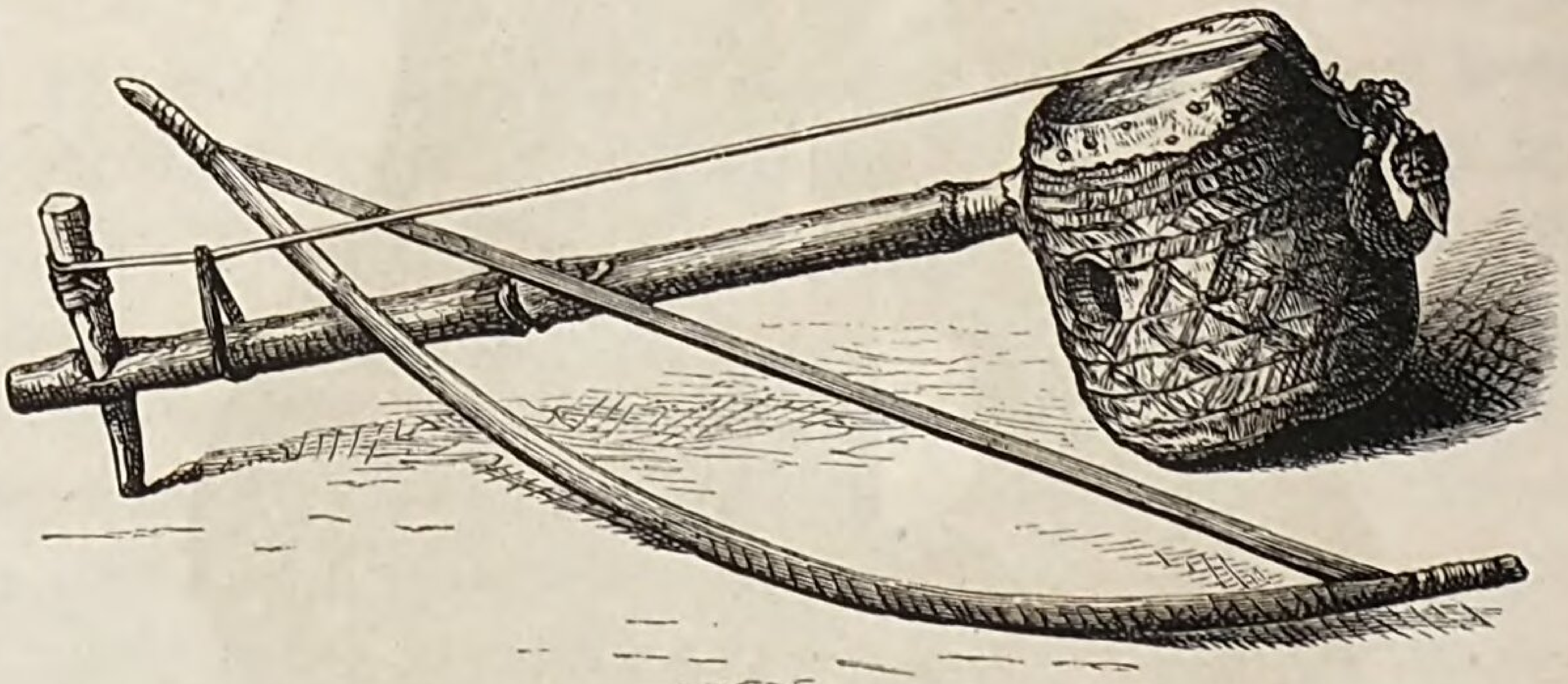


Fig. 99. Afrikanische Geige.

selbständig als Soloinstrument auf; jedes Instrument ist immer mehrfach besetzt. Für die feinste Instrumentalmusik, die sogenannte Kammermusik, eignet sich der Contrabaß mit seinen massigen Klängen nicht, und es besteht dann das Quartett immer aus zwei Geigen, Bratsche und Violoncell: einzelne Ausnahmen (z. B. Franz Schubert's Forellen-Quintett) sind nur Bestätigungen für diese Regel.

Alle diese Instrumte haben im Laufe der Zeiten vielfache Umwandlungen erfahren, und wir finden in älteren Schriften noch manches

andere Instrument erwähnt, das man wohl auch noch in vielen Sammlungen trifft, das aber jetzt in Vergessenheit gerathen ist. So erfreute sich lange Zeit eine Bratschenart, die Viole d'amour, großer Beliebtheit, und neuere Musiker versuchen ihr Gedächtniß wieder aufzufrischen; sehr gerühmt wurde ferner die Gambe oder Kniegeige, ein



Fig. 100. Persische Musik: Violine und Handtrommel.

fünf- bis sechssaitiges Instrument, das die Mitte zwischen Bratsche und Violoncell hält und beim Spielen gegen das Knie gestemmt wurde. Die Viola de bardone der Italiener hatte sogar einen Bezug von vierundvierzig Saiten, die aber nicht alle mit dem Bogen gespielt werden konnten, sondern größtentheils mit dem Finger gerissen wurden; und noch Johann Sebastian Bach erfand eine neue Bratsche mit fünf Saiten, die Viola pomposa, die sich aber auch keinen rechten Eingang verschaffen konnte.

Aus welchen geringen Anfängen diese Instrumente sich entwickelt haben, erkennt man aus den rohen Formen, die noch jetzt bei den wilden oder halb civilisirten Völkerschaften im Gebrauche sind: wir theilen hier nur

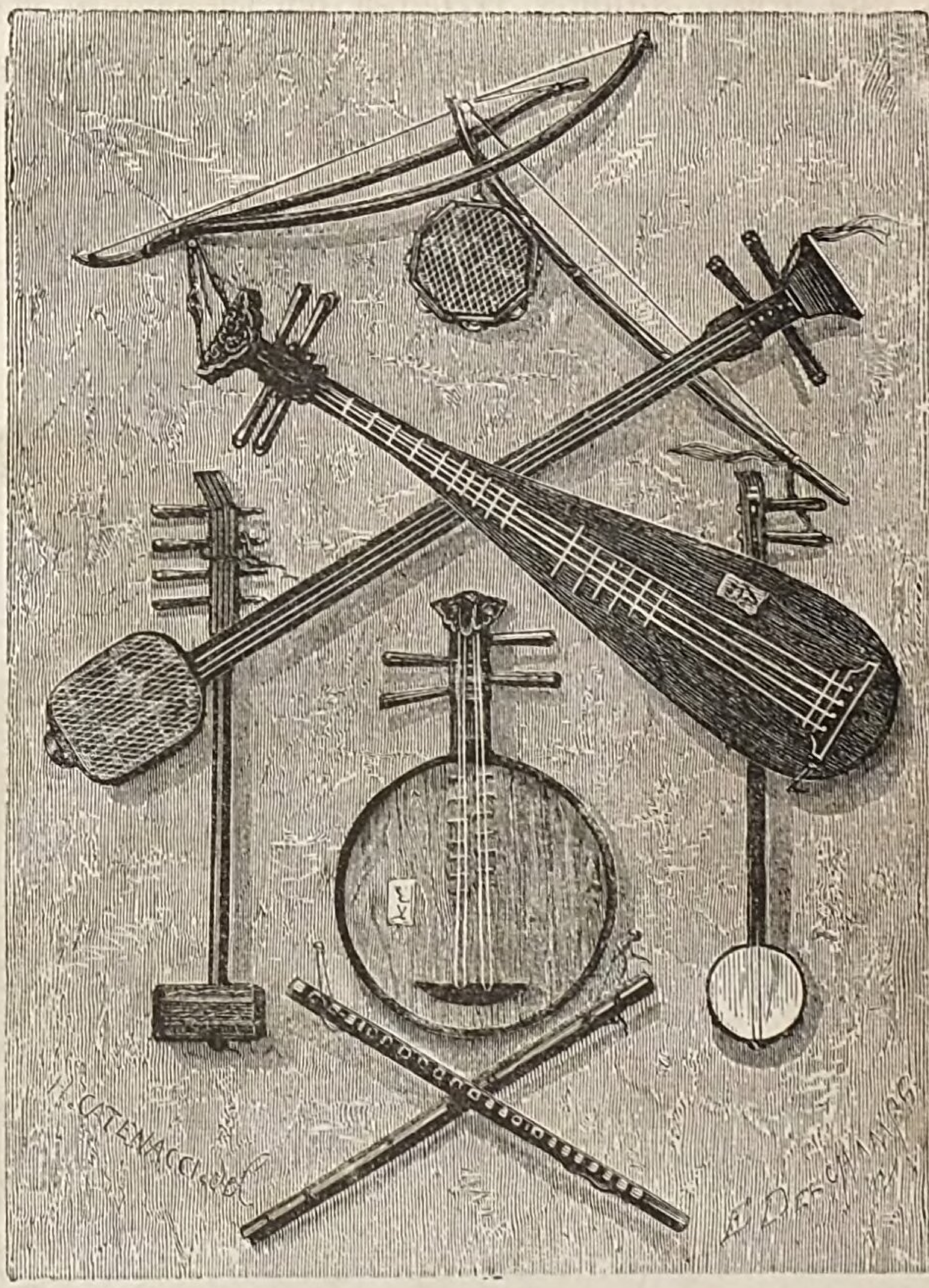


Fig. 101. Chinesische Saiteninstrumente.

die Abbildungen von Geigen der wilden afrikanischen Völkerschaften (Fig. 98 und 99), von einer persischen Geige (Fig. 100) und von chinesischen Saiteninstrumenten (Fig. 101) mit.

§ 3. Guitarre und Harfe.

Wenden wir uns nunmehr zu den Instrumenten, bei welchen die Saiten niemals mit einem Bogen gestrichen, sondern stets mit dem Finger oder mit einem Stäbchen oder Federkiel gerissen werden, bei denen aber auch der Ton durch einen Resonanzkasten verstärkt wird, welcher ebenso wie die in ihm eingeschlossene Luftmasse zugleich mit in Schwingung ge=

räth; die Zahl der Saiten ist eine wechselnde und im Allgemeinen viel größer, als bei den Streichinstrumenten.

Das verbreitetste unter diesen Instrumenten war bei uns die Guitarre (Fig. 102), die sich ihrem ganzen Wesen nach nicht zur Aufführung selbständiger Musikstücke, sondern nur zur Begleitung des Gesanges, und zwar auch vorwiegend nur bei ganz einfachen, volksthümlichen Liedern, eignet. Ein kräftiger Ton kann sich bei der Guitarre nicht entwickeln, weil die Deckel des Körpers ganz flach sind und weil kein Steg zum

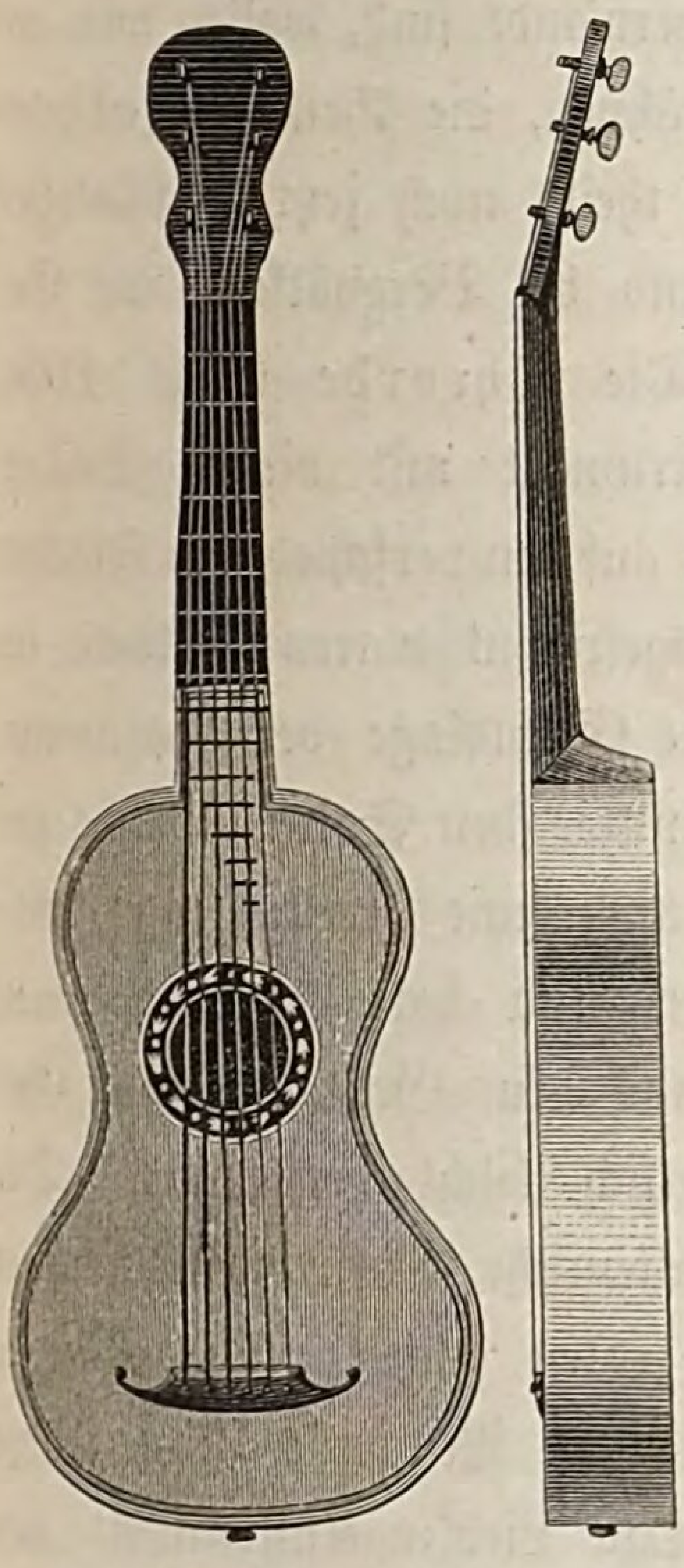


Fig. 102. Die Guitarre.

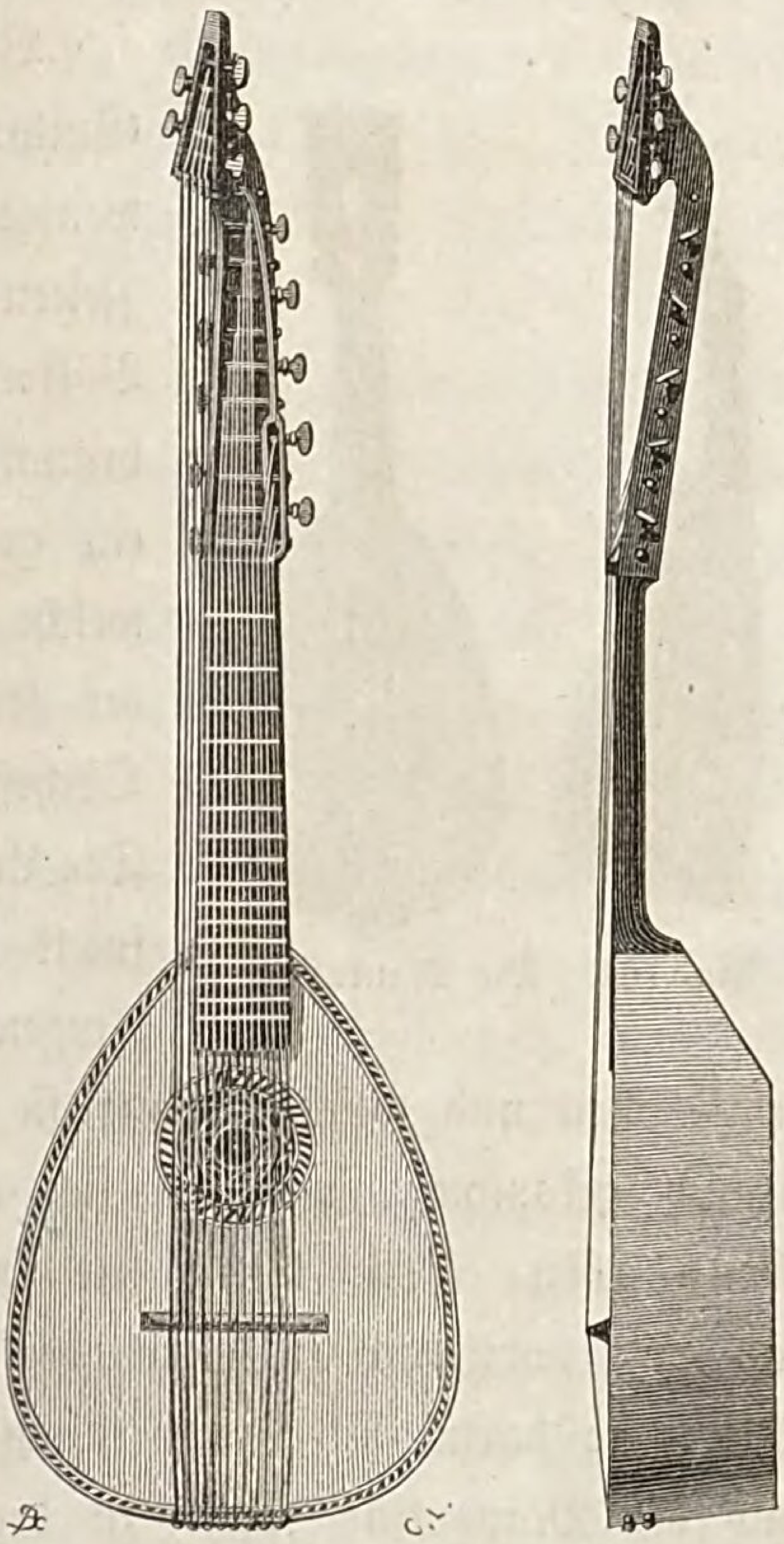


Fig. 103. Die Theorbe.

Tragen der Saiten vorhanden ist; auch die Art, wie die Guitarre gespielt wird, ist nicht für die Erzeugung eines starken Tones geeignet: durch das Reißen mit dem Finger können nie sehr intensive Schwingungen hervorgerufen werden, und die so erzeugten Töne erlöschen auch bald und haben dabei etwas Zitterndes, Unsicheres und dadurch fast Weinerliches, was aber allen Instrumenten eigenthümlich ist, die in diese Classe gehören.

Die Zahl der Saiten beträgt gewöhnlich bei uns sechs, welche auf die Töne E, A, d, g, h, e′ gestimmt werden; es ist also die Stimmung in Quarten nicht consequent durchgeführt. Zur Verkürzung der Saiten sind in das Griffbret Querleisten eingesetzt, welche Bünde heißen, und gegen welche die Saiten mit den Fingern der linken Hand gedrückt werden: von der richtigen Vertheilung dieser Bünde hängt die Reinheit der gespielten Töne ab, der Spieler aber kann in keiner Weise zur Verbesserung in dieser Beziehung irgend etwas beitragen, während er bei den geigenartigen Instrumenten alles in seiner Gewalt hat.

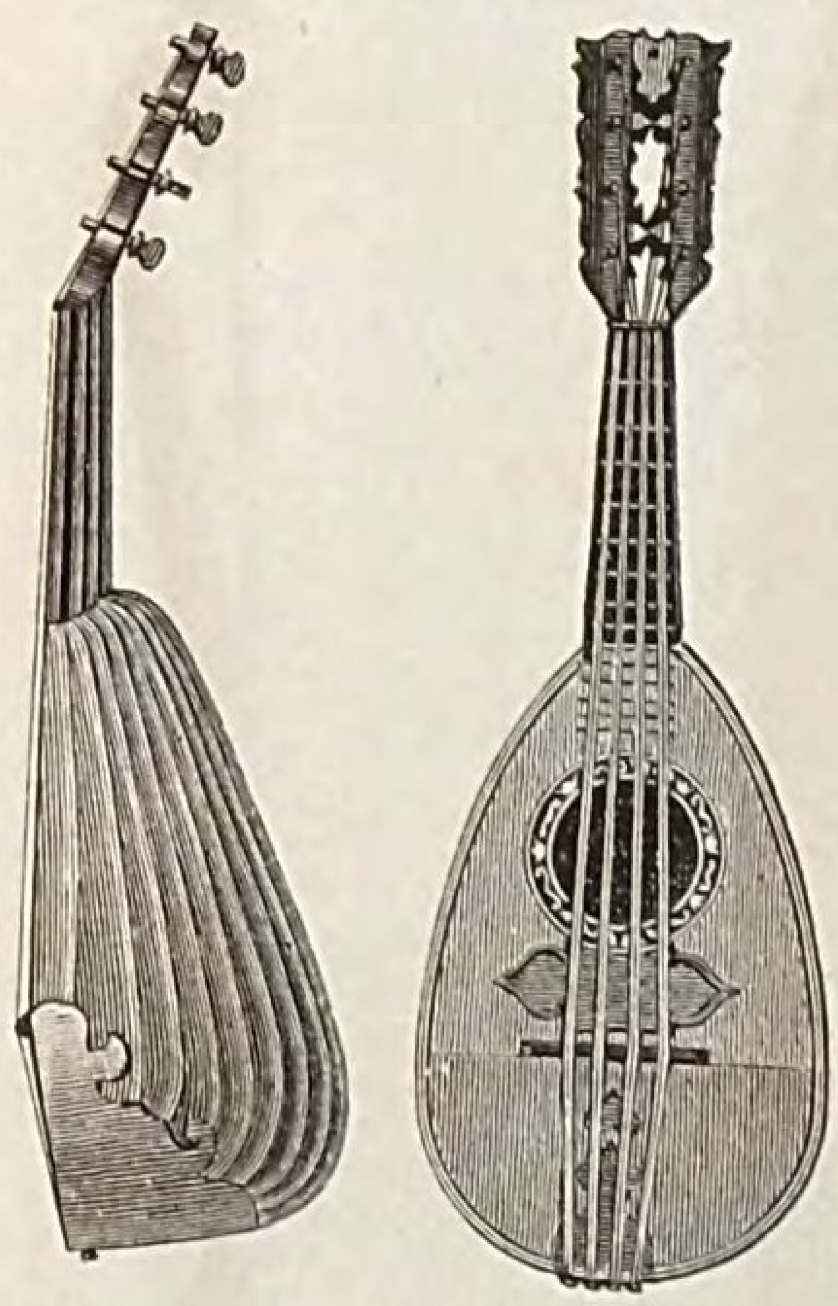


Fig. 104. Die Mandoline.

Von den Instrumenten, die mit der Guitarre nahe verwandt sind, wollen wir nur wenige kurz erwähnen, die theils in früheren Zeiten bei uns, theils noch jetzt bei südlichen Völkerschaften und bei Bergvölkern im Gebrauch sind. Die Theorbe (Fig. 103), ein großes Instrument mit vielen Saiten, welche nicht selten auf den verschiedenen Flächen des Körpers ausgespannt waren, bildete im Orchester oft die Grundlage der Harmonie. Die Laute trug unter den Saiten, welche gespielt wurden, noch eine zweite Lage mitklingender Saiten und hatte dadurch einen sehr vollen und weichen Ton: sie ist nur aus dem Grunde außer Gebrauch gekommen, weil sie sich außerordentlich leicht verstimmt. Die Mandoline (Fig. 104), das specifisch italienische Instrument, eignet sich ganz vorzüglich zu Serenaden: und so setzten früher einige Sänger eine Ehre darin, sich das berühmte Ständchen in Mozart's Don Juan auf der Mandoline selbst zu begleiten. Das Lieblingsinstrument der Alpenvölker ist die Zither, ein Resonanzkasten, der mit einer Reihe von Metallsaiten überspannen ist, von denen sich nur die höchsten, auf denen die Melodie gespielt wird, über einem Griffbrete mit Bünden befinden, sodaß sie mit den Fingern verkürzt werden können, während die übrigen immer nur einen Ton geben und sich so nur zur Accordbegleitung eignen: der schwirrende Ton, den schon die Guitarre besitzt, tritt bei diesem Instrumente noch viel schärfer hervor wegen des Materials der Saiten. Auch bei außereuropäischen Völkerschaften sind ähnliche In-

strumente im Gebrauche. — Hieran schließt sich in der Bauart ein weit verbreitetes, selbstthätiges Instrument, die Aeolsharfe. Dieselbe besteht aus einem einfachen Resonanzkasten, über welchen mehrere dünne Darmsaiten ausgespannt sind, die alle auf denselben Ton, gewöhnlich F gestimmt werden. Man stellt den Kasten an einem zugigen Orte so auf, daß der Wind leicht quer über die Saiten hinwegstreichen kann: durch den Luftzug gerathen die Saiten in Schwingungen und theilen sich hierbei häufig in zwei, drei, vier oder mehr Theile, sodaß man neben dem Grundtone noch im beständigen Wechsel die Obertöne f, c', f', a', c'' und andere mehr hört; die Verschlingungen der Accorde machen hierbei einen wunderbaren Eindruck, sodaß das Instrument sich vorzüglich eignet den romantischen Zauber der Ruinen zu erhöhen.

Eine durchaus andere Form, als alle bisher genannten Instrumente, besitzt die Harfe, vielleicht das älteste unter allen Saiteninstrumenten, und nur darin stimmt sie mit den zuletzt erwähnten überein, daß ihre Saiten ebenfalls mit dem Finger gezupft werden. Der Umriß des Instrumentes hat ungefähr die Gestalt eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen eine Seite von dem Resonanzkasten gebildet wird: dieser Kasten ist aus acht Holzblättern zusammengesetzt, welche an einander geleimt sind und an der vorderen Seite eine Tafel von Fichtenholz tragen, in der sich mehrere Schalllöcher in Form von Rosetten oder Kleeblättern befinden. An dieser Tafel sind auch die unteren Enden der Saiten mittels kleiner Stifte befestigt, während die oberen Enden um Wirbel geschlungen sind, die in der kürzesten Seite des Dreiecks, dem Oberholze, das eine stark ausgeschweifte Form besitzt, so eingelassen sind, daß sie mit Hilfe eines Schlüssels gedreht werden können. Durch Umdrehung der Wirbel stimmt man die Saiten auf die aufeinanderfolgenden Töne der Scala der Tonart, in welcher das Musikstück gespielt werden soll. Um aber auch während des Spieles eine Veränderung in der Stimmung einzelner Töne bewirken zu können, nämlich eine Erhöhung um einen halben Ton, sind bei den einfachsten Instrumenten, den sogenannten Hakenharfen, neben jedem Wirbel Häkchen angebracht, durch welche die Spannung vergrößert werden kann. Natürlich ist dieses Umstimmen etwas umständlich und erfordert einige Zeit, und man hat daher auf Mittel gesonnen, durch

welche derselbe Zweck in einfacherer Weise erreicht werden kann: dergleichen Vorrichtungen aber finden wir bei der **Pedalharfe**.

Bei diesem vollkommneren Instrumente, dessen Mechanismus aus Fig. 105 leicht zu erkennen ist, sind am Fuße, entsprechend den sieben Stufen der Tonleiter, sieben Pedale angebracht (2), deren jedes alle

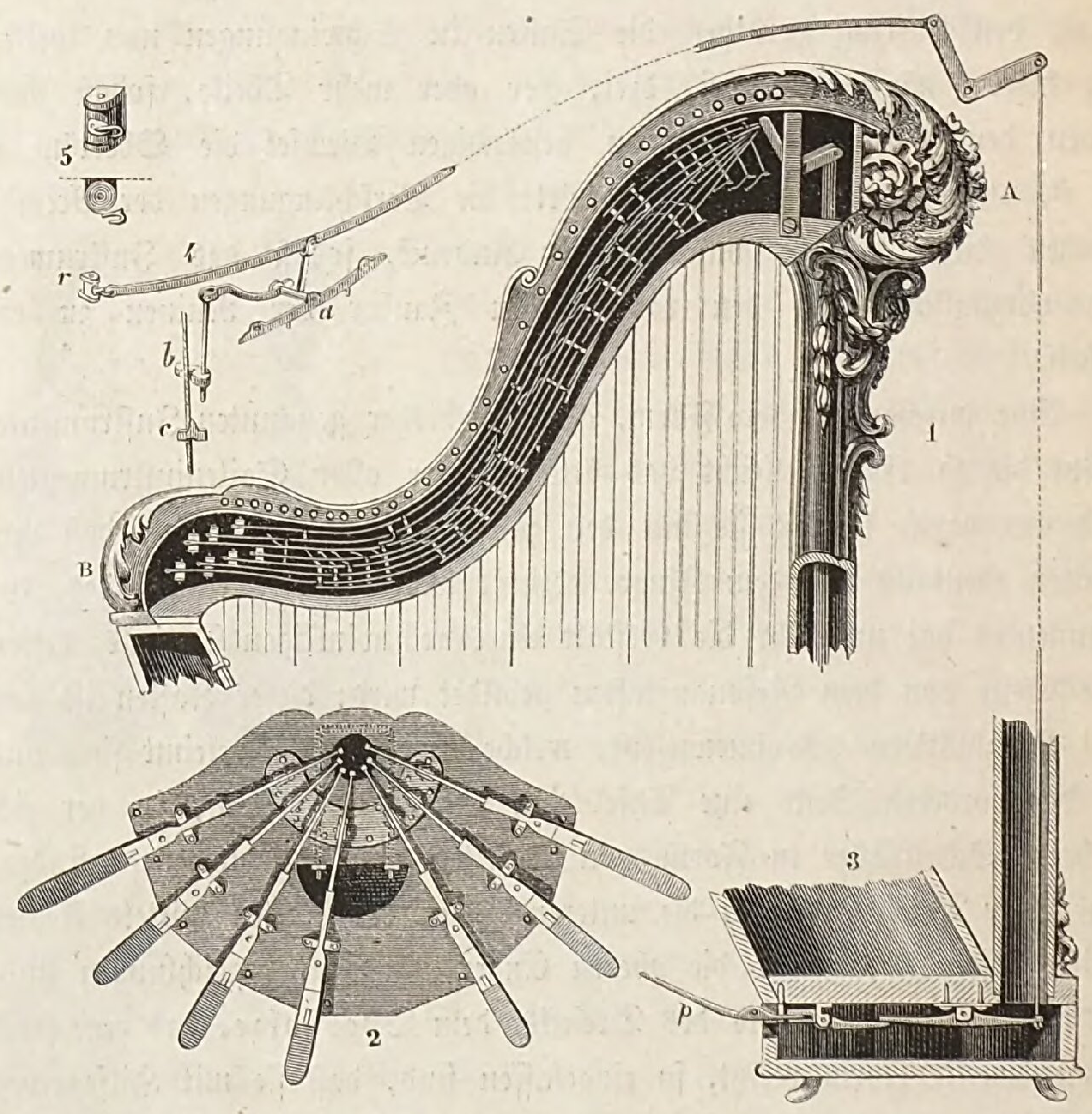
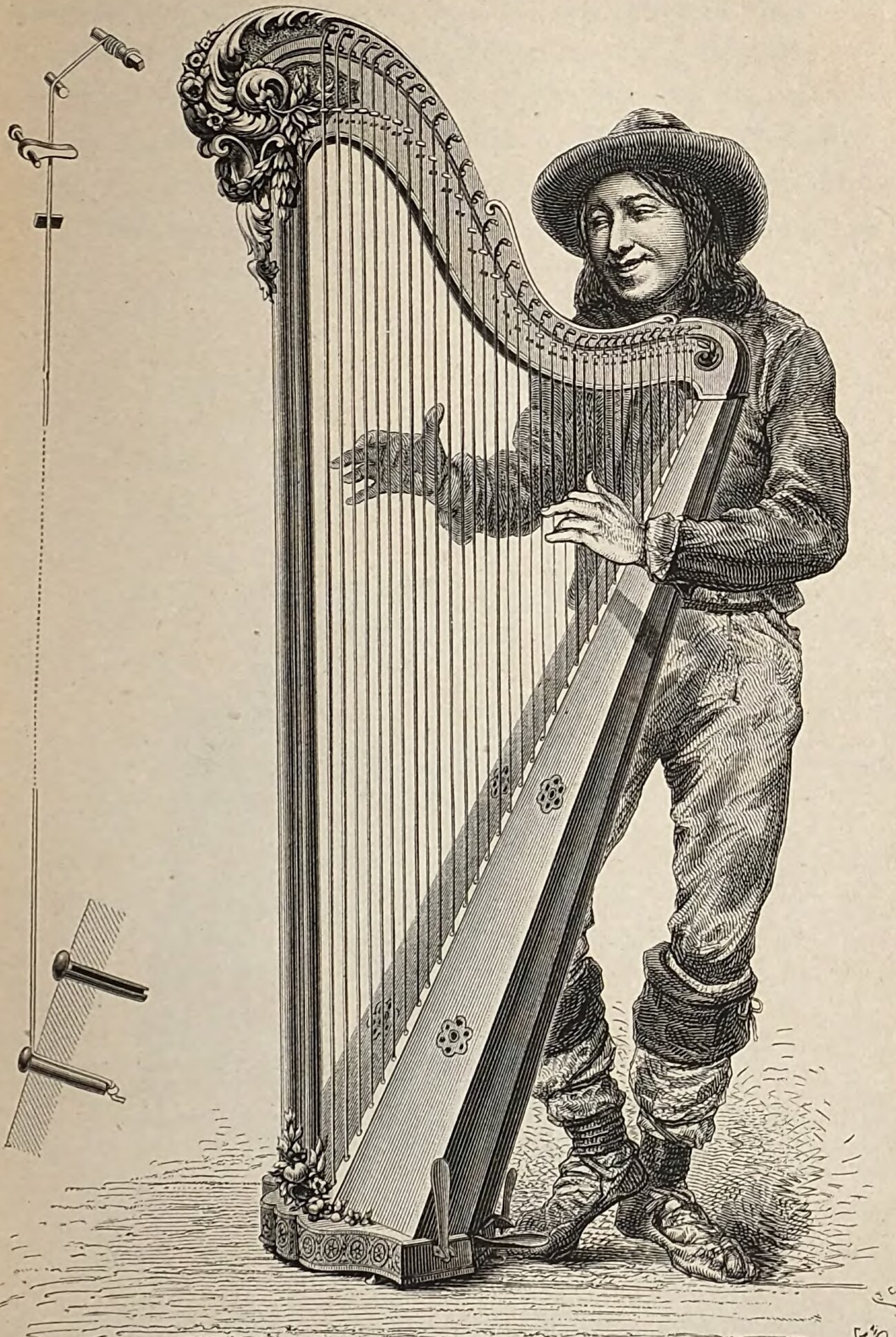


Fig. 105. Mechanismus der Pedalharfe.

Saiten, welche gleichnamige Töne in den verschiedenen Octaven geben, um einen halben Ton erhöht. Wird nämlich ein Pedal p (3) niedergedrückt, so wird durch doppelten Hebel ein Stab herabgezogen, der in der vorderen Seite des Rahmens liegt; dieser Stab wirkt weiter auf einen Winkelhebel und durch diesen auf einen Arm a (4), welcher um eine Axe drehbar ist und bei seiner Drehung mittels einer kleinen Krücke b die Saiten gegen einen Steg c drückt, wodurch dieselbe um so viel verkürzt wird, daß sie um einen halben Ton höher klingt.



Die Harfe.

Sobald man das Pedal frei läßt, so wird das Hebelwerk durch eine Feder r (5) in seine alte Lage zurückgeführt; wie die Hebel neben und über einander im Oberholze AB liegen, erkennt man aus Fig. 105, 1. Man giebt den Saiten der Harfe gewöhnlich die Stimmung der Es-dur-Tonleiter, und zwar reicht der Umfang durch $4^1/_2$ bis 5 Octaven; durch das erste Pedal werden dann gleichzeitig alle Es in E verwandelt, und



Fig. 106. Harfenspieler.

ebenso bewirken die sechs anderen Pedale der Reihe nach die Umstimmung von F in Fis, G in Gis, As in A, B in H, C in Cis und D in Dis.

Beim Spielen der Harfe wird der Resonanzkasten auf den Boden aufgesetzt und gegen die rechte Schulter gelehnt, sodaß die Saiten in eine fast senkrechte Stellung kommen (Fig. 106 und Tafel VII): man reißt die Saiten mit den Fingern beider Hände, und zwar bewegt sich die rechte Hand

vorwiegend über den kürzeren Saiten, welche die höheren Töne geben und auf welchen mithin auch gewöhnlich die Melodie gespielt wird, die linke über den längeren. Der Gebrauch dieses Instrumentes in der edleren Musik ist immer ein ziemlich eingeschränkter geblieben, doch wird es von neueren Operncomponisten jetzt vielfach angewendet, sodaß sich in den größeren Theaterorchestern meistens auch ein Harfenspieler vorfindet; in der Hausmusik dagegen ist die Harfe, wie so viele andere Instrumente, vom Claviere vollständig verdrängt worden. In Südeuropa und im Nordwesten dieses Erdtheils, also besonders in den Theilen, die vorwiegend gälische Bevölkerung besitzen, wie Wales und Ireland, kommt die Harfe noch viel häufiger zur Anwendung, sodaß das letztgenannte Land sogar dieses Instrument im Wappen führt. So

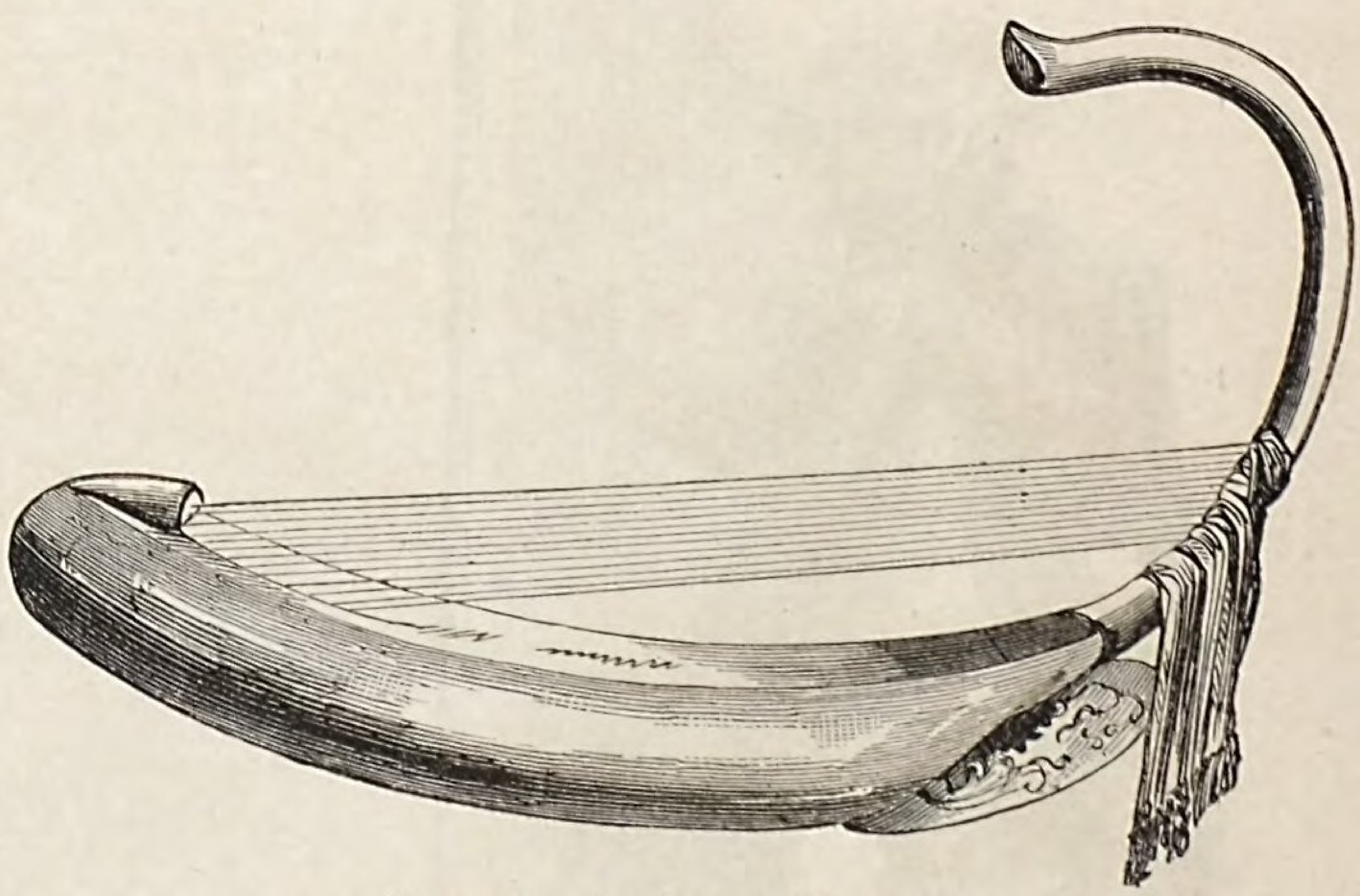


Fig. 107. Harfe der Birmanen.

sagt Erny in seiner Reise in das Land der Gälen: „Die Bewohner von Wales haben ein Nationalinstrument, welches Telyn genannt wird, eine Harfe, welche die Eigenthümlichkeit besitzt, daß die Saiten in einer dreifachen Reihe geordnet sind. Beim Spielen lehnt man den Telyn gegen die linke Schulter und reißt die Saiten mit den Fingern der linken Hand.“ Man sieht, daß diese gälische Harfe zwar nicht den complicirten Mechanismus der Pedalharfe besitzt, daß aber das Spiel wegen der großen Zahl der Saiten nicht unbedeutende Schwierigkeiten darbietet. Von ähnlichen Instrumenten außereuropäischer Völker wollen wir nur die birmanische Harfe (Fig. 107) im Bilde darstellen.

§ 4. Das Clavier.

Durch eine Umformung der Harfe hat sich wahrscheinlich eine Reihe von Instrumenten entwickelt, die man mit dem allgemeinen Namen der Claviere bezeichnen kann: Instrumente, die mit der Harfe das Gemeinsame haben, daß bei ihnen jede Saite ihre feste Stimmung besitzt, welche sich während des Spieles nicht ändern läßt, die sich aber von ihr dadurch unterscheiden, daß bei ihnen die Saiten nicht mit dem Finger gezupft, sondern durch einen festen Körper, dem Hammer angeschlagen werden, welcher selbst durch eine Taste regiert wird. Wir rechnen zu ihnen außer einigen einfachen und veralteten Instrumenten, hauptsächlich das Pianoforte, dessen Herrschaft sich immer weiter ausbreitet, dessen Einfluß allmählich immer mehr das ganze musikalische Leben durchdringt:

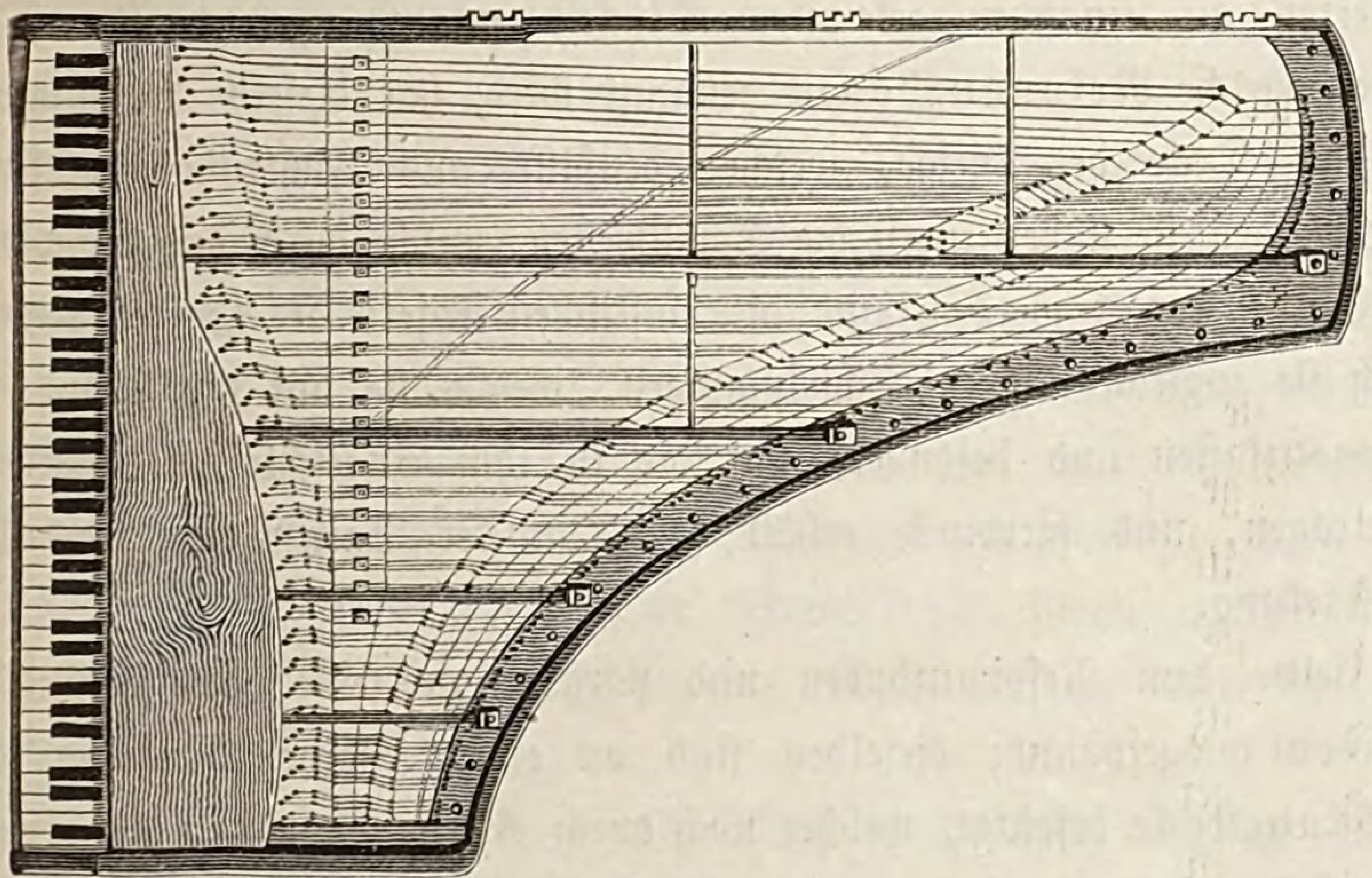


Fig. 108. Resonanzkasten und Saitenbezug eines Flügels.

denn kein Instrument gestattet in gleichem Maße einem einzelnen Spieler Melodieen vom verschiedensten Charakter, mehrstimmig verschlungene Musiksätze zugleich mit der reichen Fülle der Harmonieen zum Gehör zu bringen; dabei ist das Spiel weniger ermüdend und verhältnißmäßig im Vergleiche zu anderen Instrumenten leicht, besonders weil die Tonhöhe immer fest gegeben ist und nicht erst vom Spieler berichtigt werden muß.

Das Pianoforte besteht aus drei Hauptheilen aus dem Resonanzkasten, dem Saitenbezuge und dem Mechanismus der Tasten, welche wir in dieser Reihenfolge jetzt betrachten wollen.

Der Resonanzkasten hat sehr verschiedene Formen, je nachdem die Saiten horizontal nach der Längsrichtung, horizontal und quer herüber, oder vertical gespannt sind, und hiernach ergeben sich die drei Hauptarten des Pianofortes, nämlich der Flügel, das tafelförmige Instrument und das Pianino. Unter allen diesen Arten besitzt der Flügel (Fig. 108) die größte Fülle des Tones und wird deshalb von den Künstlern am meisten geschätzt: wir wollen uns daher bei unseren Betrachtungen auf ihn beschränken, und bemerken nur, daß die Einrichtung der anderen Pianofortes sich nur durch die Lage und Anordnung der Theile von ihm unterscheidet. Der Resonanzkasten, welcher beim Flügel von dreieckiger Form ist und in seiner Gestalt an die Harfe erinnert, besteht aus hartem Holze, am besten aus Eichenholz; und auf seinen Seitenwänden ruht eine dünne Tafel aus Fichtenholz, die aus mehreren an einander geleimten Stücken zusammengesetzt ist. Diese Tafel, welche Resonanzboden genannt wird, hat dieselbe Bestimmung, wie die Decke der Geige, welche ebenfalls aus Fichtenholz verfertigt wird: gegen sie stoßen zuerst die Schallwellen, welche durch das Schwingen der Saiten erregt werden, und die elastischen Fasern des Holzes gerathen durch sie zugleich mit in Schwingungen, welche sie auf die Wände des Resonanzkasten und besonders auf die in ihm eingeschlossene Luftmasse übertragen, und hierdurch erhält der Ton der Saiten eine wesentliche Verstärkung.

Ueber dem Resonanzboden und parallel zu seiner Ebene sind die Saiten ausgespannt; dieselben sind an einem eisernen Rahmen, dem Anhängestocke befestigt, welcher noch durch eiserne Stangen, die Spreizen, fest zusammengehalten wird, sodaß sich seine Form weder durch den fortgesetzten Zug, den die Saiten beständig auf ihn ausüben, noch durch irgend welche Verwerfungen im Holze irgendwie ändern kann. Der Bezug besteht aus Metallsaiten, deren Längen und Dicken je nach der Höhe der Töne, welche sie geben sollen, wie auch nach der Fülle, den der Klang haben soll, verschieden sind. Für jeden Ton sind in den tieferen Octaven zwei, in den höheren drei Saiten ausgespannt, welche gleich gestimmt und gleichzeitig durch denselben Hammer angeschlagen werden; die Saiten für denselben Ton bilden in ihrer Vereinigung ein Chor. Alle Saiten sind aus Stahldraht, diejenigen unter ihnen aber, welche die tiefsten Töne geben sollen, sind mit feinem Kupferdrahte übersponnen

die Höhe der Töne, welche sie geben, ist gleichzeitig abhängig von ihrer Länge, ihrer Dicke und ihrer Spannung.

Jede Saite ist am hinteren Ende durch eine Schleife an einem Stäbchen im Anhängestocke festgehakt, ist dann über mehrere Stege hinweg gezogen, welche ihrer Länge ein unveränderliches Maß geben, und endlich an ihrem vorderen Ende um ein Stäbchen aus Stahl, den sogenannten Stimmstock, geschlungen und an ihm befestigt. Dieser Stimmstock steckt mit harter Reibung in einem Bohrloche, in welches er genau hineinpaßt, kann aber mit Hilfe eines besonderen, schlüsselartigen Instrumentes, des Stimmhammers, gedreht werden, wenn der Ton der Saite etwas erhöht oder erniedrigt werden soll. Man stimmt die Saiten so, daß der Höhenunterschied zweier aufeinander folgender Chöre immer einen halben Ton beträgt, sodaß ihre Reihe die sogenannte chromatische Tonleiter giebt. Man beginnt gewöhnlich mit dem Tone a, den man mit dem Tone der Stimmgabel in Uebereinstimmung bringt, und geht von dort aus durch Intervalle von Quinten weiter, bis man wieder zu derselben Tonstufe zurückgekehrt ist; allein, wie wir im Buche der physikalischen Erscheinungen ausführlich besprochen haben, darf man dabei das Intervall der Quinte nicht rein nehmen, weil man sonst zu einer falschen Octave kommen würde, sobald man den Quintenzirkel durchlaufen hat: und es ist eine Hauptaufgabe des Stimmers, die Quinten alle gleichmäßig zu erniedrigen oder zu temperiren, sodaß die Intervalle überall dieselben sind, eine Aufgabe, die nicht leicht zu lösen ist und ein feines Ohr voraussetzt.

Wir haben erwähnt, als wir die Geige besprachen, daß ein guter Spieler auf diesem Instrumente zwischen den sogenannten enharmonischen Tönen, z. B. zwischen cis und des u. s. w., wohl einen Unterschied zu machen versteht: auf unseren Clavieren ist dies nicht möglich, beiden Tönen dient nur eine einzige Taste, und wir müssen deshalb von vornherein auf die Reinheit der Intervalle verzichten, ein Uebelstand, der nicht verfehlt hat, auf das ganze Wesen der Musik einen Einfluß auszuüben. Wohl hat man einige Versuche gemacht, wenigstens bis zu einem gewissen Grade diesem Uebel dadurch abzuhelfen, daß man für die halben Tonstufen doppelte Tasten angewendet hat, wenn auch bisher nicht mit besonderem Erfolge; allein es ist nicht unmöglich, daß auch dieses Problem durch weitere Vervollkommnung der Mechanik noch gelöst

wird, und daß auch die Behandlung eines solchen Instrumentes ebensogut ausführbar ist, wie schon jetzt die Orgelspieler gleichzeitig auf mehreren Manualen spielen. Für orgelartige Instrumente hat die Aufgabe durch Helmholtz (Tonempfindungen, S. 489) eine Lösung gefunden.

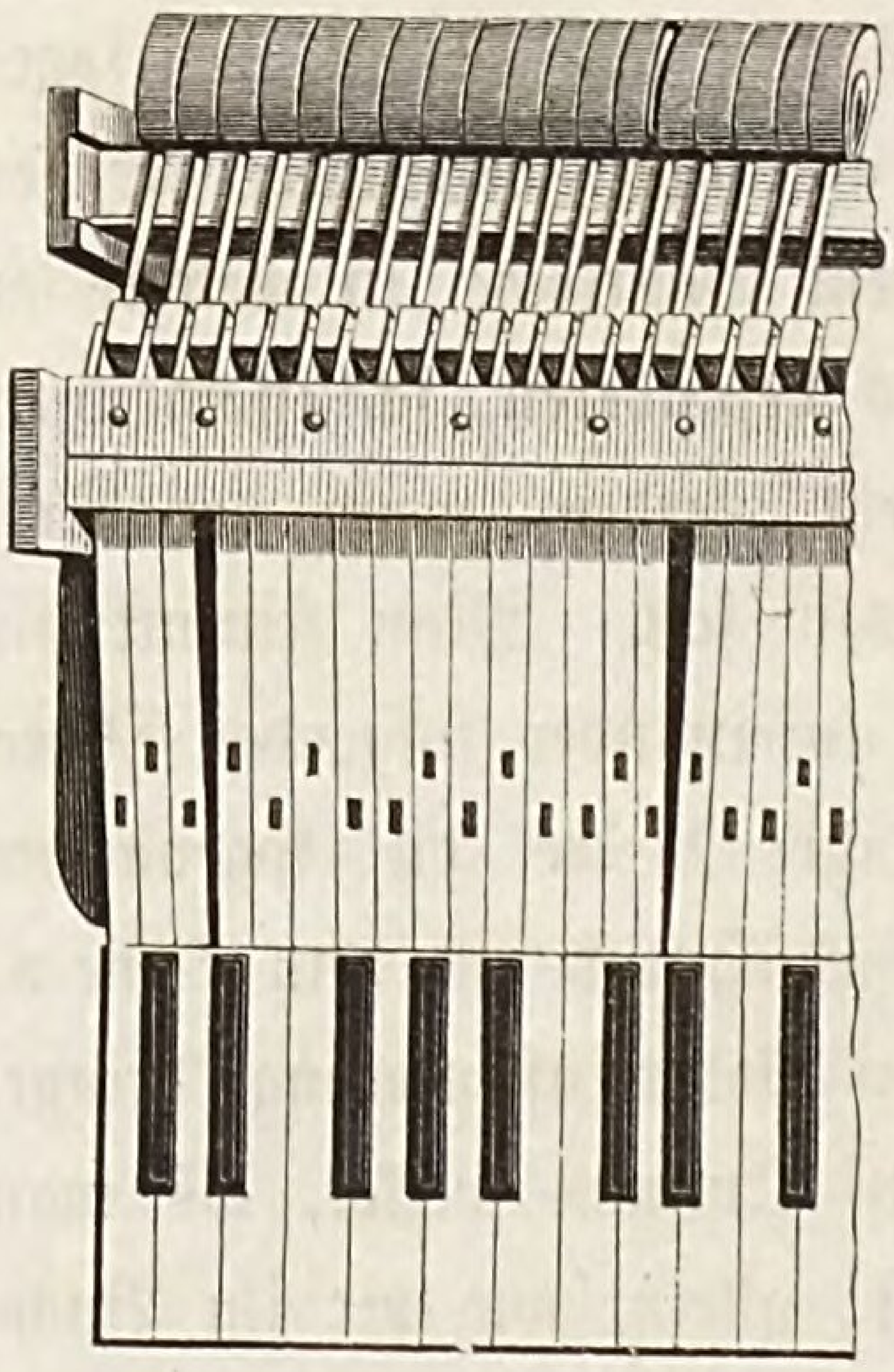


Fig 109. Anordnung der Tasten und Hämmer.

Wenden wir uns jetzt zum Mechanismus der Tasten und Hämmer (Fig. 109), durch welche die Schläge gegen die Saiten ausgeführt werden. Die Tasten der Töne, welche die C-dur-Tonleiter bilden, tragen in ihrem vorderen Theile, auf welchen die Finger aufgesetzt werden, Platten aus Elfenbein, während die Tasten der zwischenliegenden Töne, die etwas kürzer sind, aus Ebenholz verfertigt werden. Jede einzelne Taste bildet einen langen Hebel, der mittels eines mit Filz ausgefütterten Schlitzes auf ein Stäbchen O aufgesteckt ist, sodaß, wenn der vordere Theil B der Taste niedergedrückt wird, sich der hintere Theil A hebt (Fig. 110). Hier befindet sich auf dem Hebel eine Gabel G, in welcher bei e ein gekrümmtes Stäbchen t mittels einer Axe, die sich leicht bewegt,

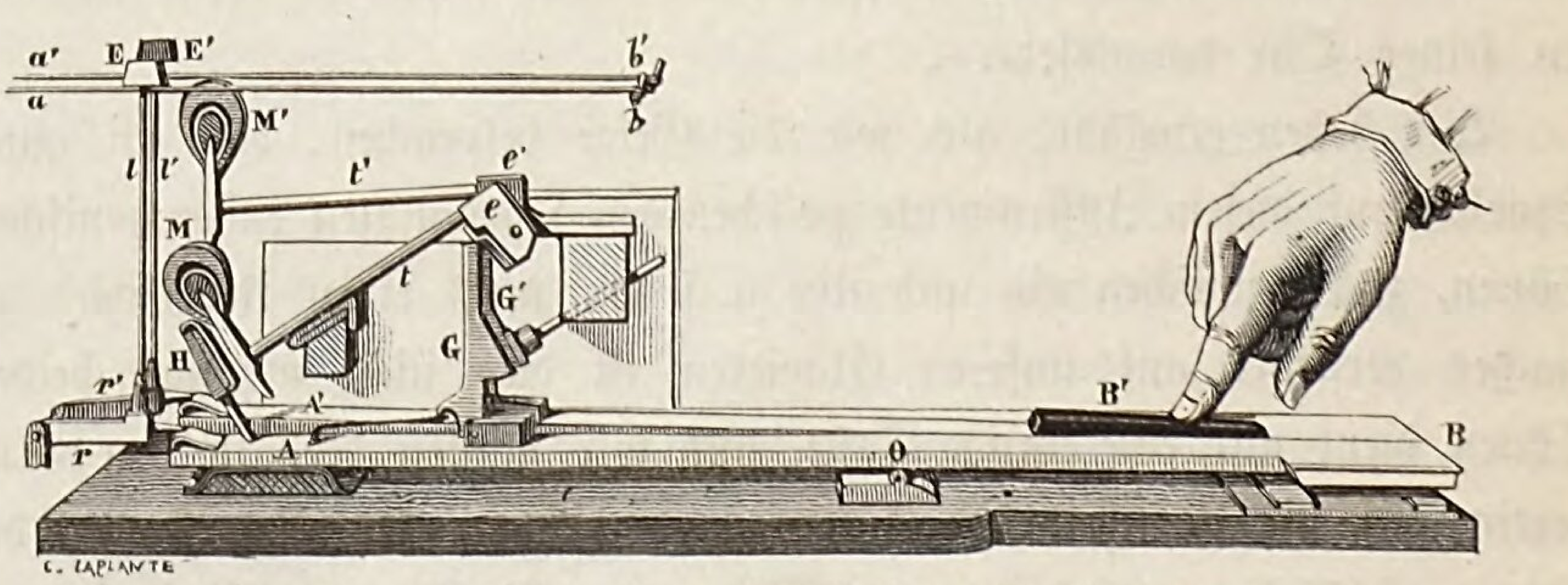


Fig. 110. Mechanismus der Tasten und Hämmer.

eingesetzt ist; dieses Stäbchen aber trägt den Hammer M, welcher mit seinem aus Leder gebildeten Kopfe gegen die Saiten ab, die zu einem Chore gehören schlägt. Sobald nämlich die Taste niedergedrückt wird, bleibt der Hammer mit einer kleinen Fortsetzung nach

rückwärts zunächst an einem Klötzchen, das an einem federnden Stäbchen befestigt ist, hängen: dadurch wird bewirkt, daß, wenn sich die Gabel hebt, der Hammerkopf mit einer gewissen Kraft gegen die Saiten anschlägt. Beim Heben der Gabel bis zu einer gewissen Höhe gleitet aber zugleich der Vorsprung unter dem Klötzchen, das ihn hielt, hervor und der Hammer kann sofort von den Saiten wieder zurückprallen; läßt man nun die Taste wieder frei, so schiebt sich der Vorsprung des Hammers von selbst wieder unter das Klötzchen. Um das harte Aufschlagen des Hammers beim Rückprall zu hindern, sind Holzstäbchen H aufgestellt, die mit Filz überzogen sind und gegen welche sich der Hammer lehnt.

Noch wollen wir weiter die Einrichtung erwähnen, durch welche bewirkt wird, daß die Saiten sofort zu schwingen aufhören, sobald man den Finger von der Taste abhebt. Dieses Anhalten der Saite wird durch die sogenannten Dämpfer bewirkt: dieselben bestehen aus Holzstückchen E, die mit Filz überzogen sind und sich durch Stäbchen l gegen die Tasten so stützen, daß sie auf den Saiten aufliegen, so lange die Taste nicht niedergedrückt ist; während der Zeit, daß der Finger auf der Taste ruht, hebt sich der Dämpfer von den Saiten ab, sodaß dieselben frei schwingen können. Durch einen einfachen Mechanismus können aber auch alle Dämpfer mit einem Male gehoben werden und es wird dann nicht allein jede einzelne Saite fortschwingen, sondern sie wird auch alle die Saiten, deren Töne mit den Obertönen der angeschlagenen Saite übereinstimmen, zugleich mit in Schwingung versetzen: hierdurch wird der Klang ein viel stärkerer und vollerer. Dieser Mechanismus wird durch ein Hebelwerk regiert, das durch den Fuß gehoben wird und zu diesem Zwecke in einer Fußplatte oder einem Pedale endigt. Ein zweites Pedal dient dagegen zur Verschiebung des ganzen Mechanismus, sodaß, wenn dasselbe getreten ist, jeder Hammer nur noch an eine Saite des Chores anschlägt, infolge dessen der Ton viel schwächer wird.

Die Erfindung des Pianofortes fällt in das Jahr 1717, in welchem Schröder in Dresden das erste derartige, allerdings noch sehr einfache Instrument baute; bis dahin begnügte man sich mit den sogenannten Clavicembaln oder Clavieren im engeren Sinne des Wortes, bei denen mit Blech überzogene Holzstückchen, die sogenannten Tangenten,

gegen die Saite schlugen, oder man gebrauchte die **Spinette**, bei denen die Saiten durch Krähenfedern, die an den Tasten befestigt waren gerissen wurden.

Viertes Kapitel.

Die Blasinstrumente.

Wenn wir einen Vergleich zwischen den musikalischen Instrumenten, bei welchen der Ton durch das Schwingen der Saiten hervorgebracht wird, und denjenigen, bei welchen er von einer Luftsäule ausgeht, anstellen wollen, so dürfen wir uns nicht auf die Betrachtung der verschiedenen Arten, wie der Ton erzeugt wird, beschränken, sondern müssen besonders auch die Beschaffenheit des Körpers in's Auge fassen, dessen Schwingungen die musikalischen Eigenschaften des durch sie erzeugten Tones, also seine Höhe, Stärke und Klangfarbe bedingen. Wir haben gesehen, daß bei den Saiteninstrumenten der tönende Körper im Allgemeinen sich nicht auf die Saiten allein beschränkt, sondern daß zu ihm auch noch ein Kasten aus Holz oder Metall und endlich die in letzteren eingeschlossene Luftmasse zu rechnen ist. Die Saite für sich allein bestimmt zwar schon durch ihre Länge, ihre Dicke, ihre Spannung und durch das Material, aus dem sie gefertigt ist, die Höhe des Tones und zum Theil auch seine Klangfarbe: der Kasten und die in ihm eingeschlossene Luft können nur den erregten Ton verstärken, ohne jedoch seine Höhe zu ändern, wenn sie zugleich mit in Schwingung gerathen, sobald die Saite gestrichen, gerissen oder geschlagen wird: nur auf die Klangfarbe haben sie einen wesentlichen Einfluß, indem sie bewirken, daß der eine oder andere der harmonischen Obertöne in größerer Stärke hervortritt.

Bei den **Blasinstrumenten**, zu denen wir jetzt übergehen, besteht der tönende Körper oder die schwingende Masse aus einer Luftsäule, deren Gestalt von der Form der Wände abhängig ist, in welchen sie eingeschlossen ist: nur durch die Aenderungen in der Ausdehnung und der Gestalt dieser Säule wird auch die Höhe des erzeugten Tones abgeändert, während die Wände der Röhre keinen anderen Einfluß ausüben, als daß sie den Klang und die Stärke dieser Töne bestimmen. Die Art, wie bei ihnen der Ton erregt wird, ist mithin sehr verschieden von derjenigen, welche bei den Saiteninstrumenten zur Anwendung

kommt: hier handelt es sich darum, eine Luftsäule in Schwingungen zu versetzen, und dies gelingt dadurch, daß man einem Theile dieser Säule, der gewöhnlich an dem einen ihrer Enden liegt und mit einer besonderen Vorrichtung, dem sogenannten Mundstück versehen ist, eine schwingende Bewegung mittheilt. Im Allgemeinen geschieht dies dadurch, daß man einen Luftstrom in das Mundstück eintreten läßt, welcher entweder den Lippen des Bläsers oder einer künstlichen Vorrichtung, einem Blasebalge, entströmt, sich an irgend einem Theile des Mundstückes bricht und dadurch die schwingende Bewegung veranlaßt.

Die Blasinstrumente unterscheiden sich vielfach durch ihre Gestalt, ihre Größe und den Mechanismus, welcher bei ihnen zur Anwendung kommt: das Material, aus dem sie gefertigt sind, ist meistens Holz oder Metall, doch hat man auch versucht, sie aus anderen Stoffen, z. B. aus Glas zu verfertigen. Für die Erzeugung des Tones liegt aber der wesentlichste Unterschied in der Gestalt des Mundstückes, und darnach wollen wir sie in folgende drei Klassen theilen: 1) Flötenartige Instrumente, bei denen sich der Luftstrom nur gegen eine scharfe Kante bricht, wie dies bei der Flöte und den sogenannten Lippenpfeifen der Orgel der Fall ist; 2) Blasinstrumente mit Zungen, wie die Clarinette und Oboë, und 3) die Blechinstrumente mit Trompetenmundstück, wie das Horn, die Trompete und überhaupt alle gebräuchlichen Instrumente aus Messing.

Um endlich alle diese verschiedenartigen Blasinstrumente zusammen zu fassen, werden wir am Schlusse dieses Buches auf die Besprechung der Orgel übergehen, welche in ihren verschiedenen Stimmen alle Grundformen und alle Klangfarben der Blasinstrumente von den tiefsten bis zu den höchsten Tönen, von den gewaltigsten bis zu den zartesten Klängen in sich vereinigt.

§ 1. Flötenartige Instrumente. — Flageolet, Flöte und Querpfeife.

Wie wir schon erwähnten, bildet die Grundform der flötenartigen Instrumente die sogenannte Lippen- oder Labialpfeife der Orgel (Fig. 111): bei derselben dringt der Luftstrom durch ein enges Rohr in die Höhlung des unteren Theiles oder Fußes, welche nach Oben durch einen festen Keil, den Kern, fast vollständig geschlossen ist, sodaß nur

ein schmaler Streif, die Kernspalte, frei bleibt. Ueber dem Fuße erhebt sich der röhrenförmige Körper der Pfeife, in welchem sich unmittelbar neben der Kernspalte eine Oeffnung befindet, welche man

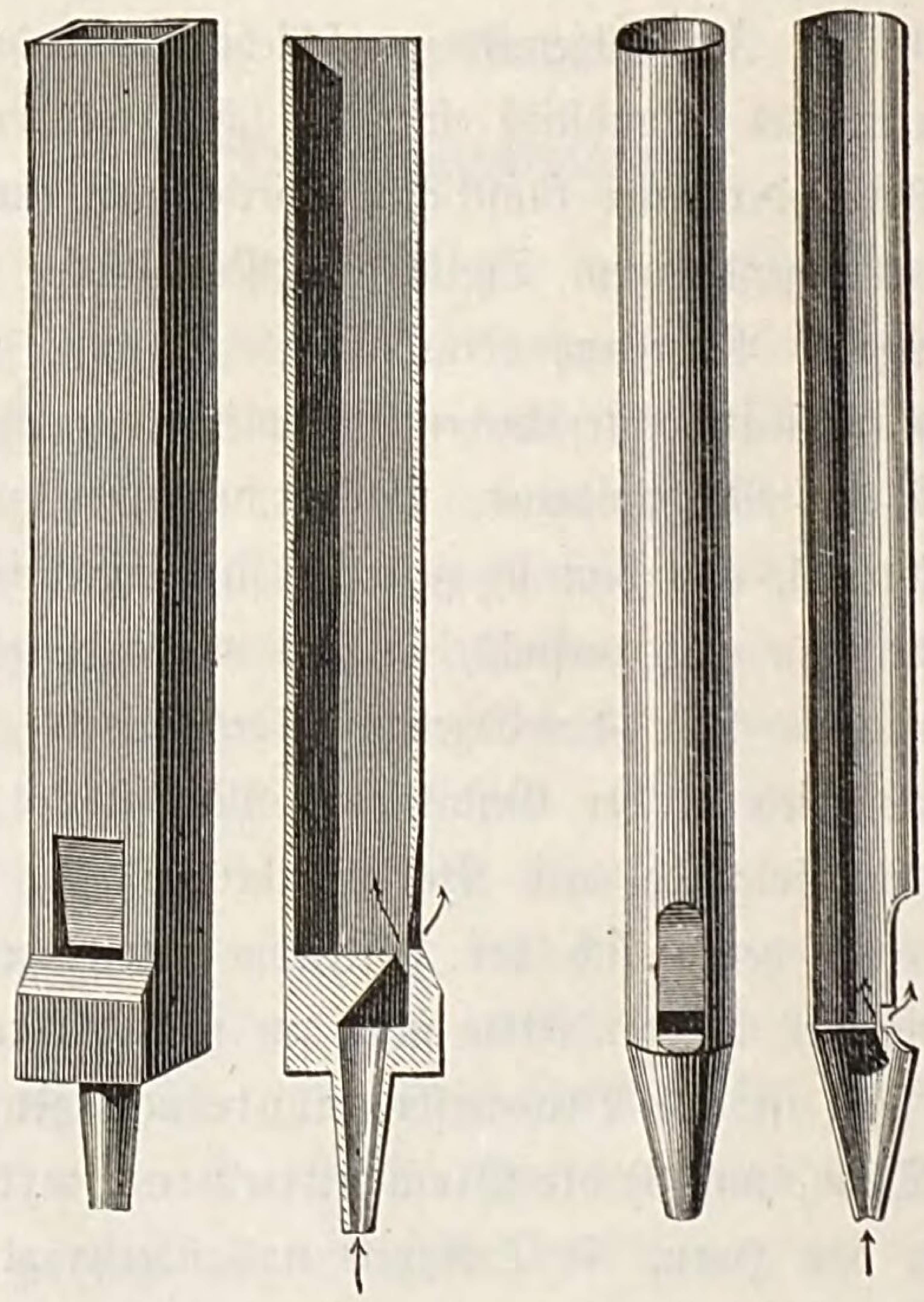


Fig. 111. Lippen- oder Labialpfeifen.

Aufschnitt nennt, während ihr oberer und unterer Rand die beiden Lippen oder Labien heißen. Gegen das obere Labium, welches zu einer scharfen Kante abgeschrägt ist, stößt nun der Luftstrom, welcher aus der Kernspalte mit einer gewissen Heftigkeit hervordringt, bricht sich daselbst und geräth dadurch in Schwingungen, die er der Luftsäule im Körper mittheilt.

Wenn die Weite der Pfeife im Vergleich mit ihrer Länge nicht sehr bedeutend ist, so ist die Höhe des Grundtones nur von der Länge der Pfeife abhängig, indem die Schwingungszahlen bei Pfeifen von verschiedener Länge im umgekehrten Verhältnisse der Länge stehen. Dieses Gesetz gilt sowohl für gedeckte, wie auch für offene Pfeifen: nur giebt eine offene Pfeife als Grundton die Octave des Grundtones einer gedeckten Pfeife von gleicher Länge. Durch verschiedenes Anblasen einer

Pfeife kann man aber auch die Luft so schwingen lassen, daß sie Töne von anderer Höhe giebt, und zwar verhalten sich bei der offenen Pfeife die Schwingungszahlen der auf einander folgenden Töne, wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, ..., bei der gedeckten dagegen, wie die ungraden Zahlen, 1, 3, 5, ...; unter diesen Tönen treten also besonders die Octave, Quinte und Terz des Grundtones hervor.

Diese Gesetze genügen für das Verständniß der akustischen Erscheinungen, welche bei den Blasinstrumenten eintreten und der Regeln, die beim Baue derselben zu befolgen sind. Die Gestalt der Röhren und das Material, aus dem sie verfertigt sind, endlich die Beschaffenheit des Mundstückes und die Art, wie der Luftstrom in dasselbe eingeführt wird, können nur den Klang der erzeugten Töne, ihre Stärke und Reinheit bestimmen, kurz alle die Eigenschaften, welche vorwiegend von der Geschicklichkeit des Bläsers abhängig sind, welche aber die physikalische Betrachtung kaum zu verfolgen im Stande ist.

Das einfachste unter den flötenartigen Instrumenten ist die Pfeife oder das Flageolet (Fig. 112): eine längliche Röhre, an welcher ein Mundstück angesetzt ist, das in seinem Bau an das Mundstück der Labialpfeifen erinnert, das nur an seinem Ende so zugeschnitten ist, daß es der Bläser bequem mit den Lippen fassen kann. In der Röhre befinden sich eine Anzahl Löcher an den Punkten, in welchen die Schwingungsknoten der Luftsäule liegen: schließt man alle diese Löcher mit den Fingern, so giebt die Pfeife ihren tiefsten Ton, indem ihre ganze Länge als die wirkliche Länge des Körpers anzusehen ist, wenn man dagegen einige der Löcher frei läßt, so ist als Länge des Körpers nur der Theil zu rechnen, welcher zwischen dem Mundstücke und der nächsten freigelassenen Oeffnung liegt. Man kann also die Tonleiter in aufsteigender Reihenfolge spielen, wenn man zuerst alle Oeffnungen schließt und dann der Reihe nach von Unten anfangend die Finger von den Oeffnungen abhebt; durch theilweises Schließen der Oeffnungen gelingt es wohl auch die zwischenliegenden Tonstufen hervorzubringen.

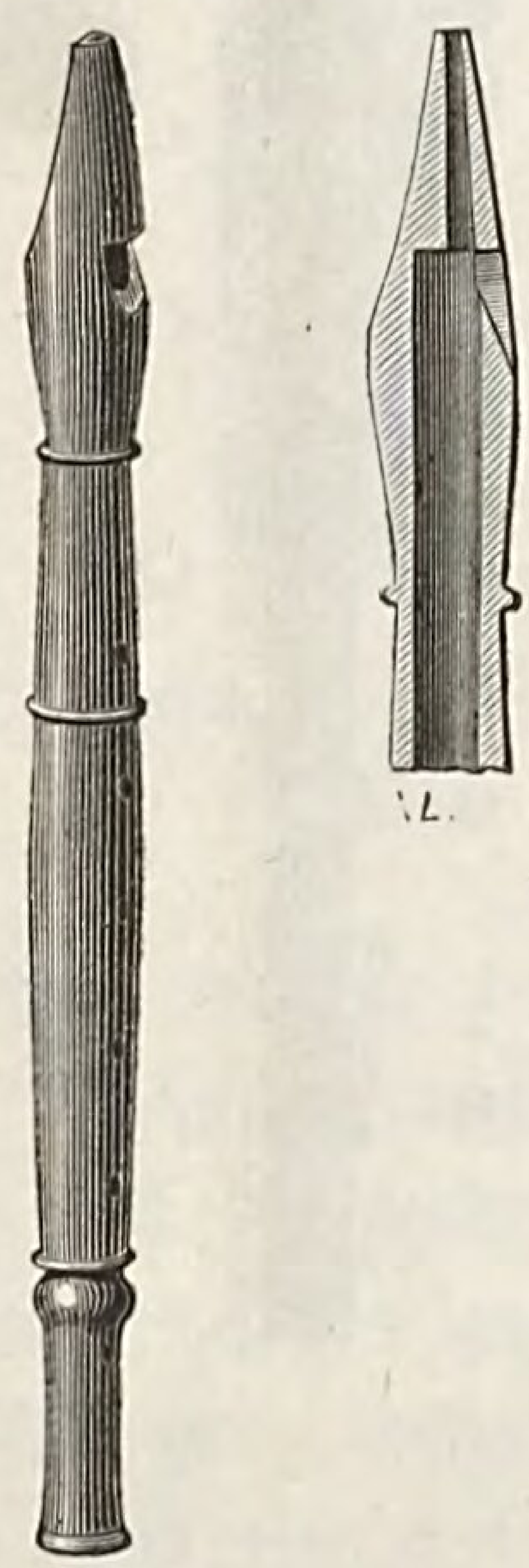


Fig. 112. Das Flageolet. Durchschnitt des Mundstückes.

Bei der Flöte (Fig. 113) und der Querpfeife besteht das Mundstück nur aus einer ovalen Oeffnung, deren Ränder zugeschärft sind und über welche man scharf hinwegbläst, sodaß also der Mund des Bläsers hier die Stelle des Fußes der Pfeife vertritt. Besonders merkwürdig ist bei diesem Instrumente, daß die Schwingungen im Körper eine andere Richtung annehmen: denn während man den Luftstrom quer über die Mundöffnung hinwegsendet, so erregt derselbe in der Röhre Schwingungen in der Längsrichtung. Man verfertigt die Flöten aus sehr hartem Holze, z. B. Buchsbaum oder Ebenholz, oder aus Elfenbein, ja man hat sogar schon Glas für dieses Instrument verwendet. Je nach der Größe und dem Umfange, den das Instrument haben soll, wechselt auch die Zahl der Löcher, von denen manche durch Klappen verschlossen sind, die durch ein Hebelwerk geöffnet werden können, während die übrigen durch die Finger geschlossen werden. Im Baue stimmt mit der Flöte die Querpfeife vollständig überein, nur daß sie viel kleiner ist und eine einfachere Construction besitzt. Dadurch sind die Töne dieses Instrumentes viel höher und schriller und weit weniger mannigfaltig: deshalb wird dieses Instrument in der höheren Musik nur selten angewendet, während es in Vereinigung mit der Trommel die gewöhnliche Marschmusik des Militärs bildet.

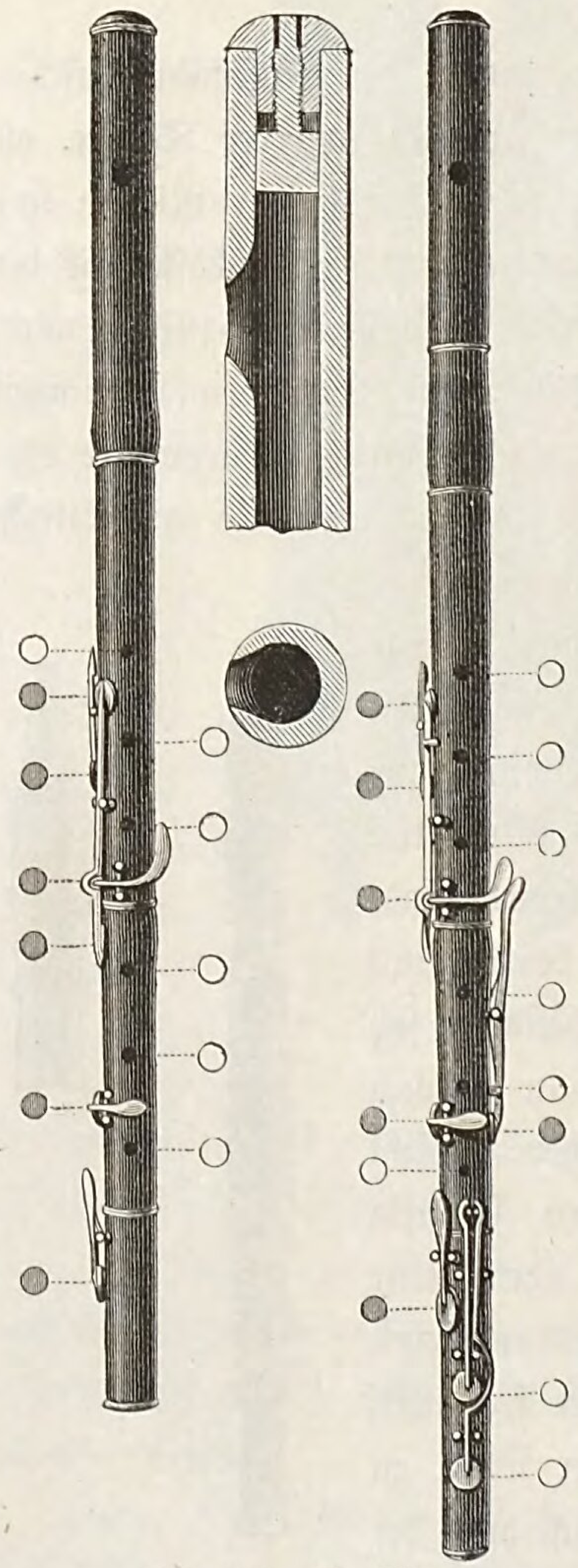


Fig. 113. Die Flöte.
Längs- und Querschnitt des Mundstücks.

§ 2. Blasinstrumente mit Zungen. — Clarinette, Oboë und Fagott.

Unter einer Zunge versteht man einen schmalen, elastischen Streifen aus Metall oder Holz, welcher an der Oeffnung eines Pfeifenkörpers so angebracht ist, daß er durch den Luftstrom, der den Ton erzeugt, in Schwingung versetzt wird. Diese Zunge ab (Fig. 114) ist vor der Oeffnung eines länglichen hohlen Stückes cd aus Holz oder Metall befestigt, welches Kelle oder Löffel heißt. Sobald sich die Zunge genau gegen die Ränder der Kelle lehnt, so schließt sie die Oeffnung vollständig ab; in ihrer natürlichen Stellung ist sie aber ein wenig von der Kelle entfernt, sodaß der Luftstrom neben ihr einen Ausweg findet. Gegen diese Zunge lehnt sich ein hakenförmig gebogenes Stäbchen aus Messingdraht, die Krücke, fest an, welches mit seinem Ende t aus dem Deckel der Pfeife herausragt, sodaß man es weiter hervorziehen oder tiefer hinabdrücken kann; durch diese Bewegung läßt sich der frei schwingende Theil der Zunge verlängern oder verkürzen und dadurch ihre Stimmung ändern.

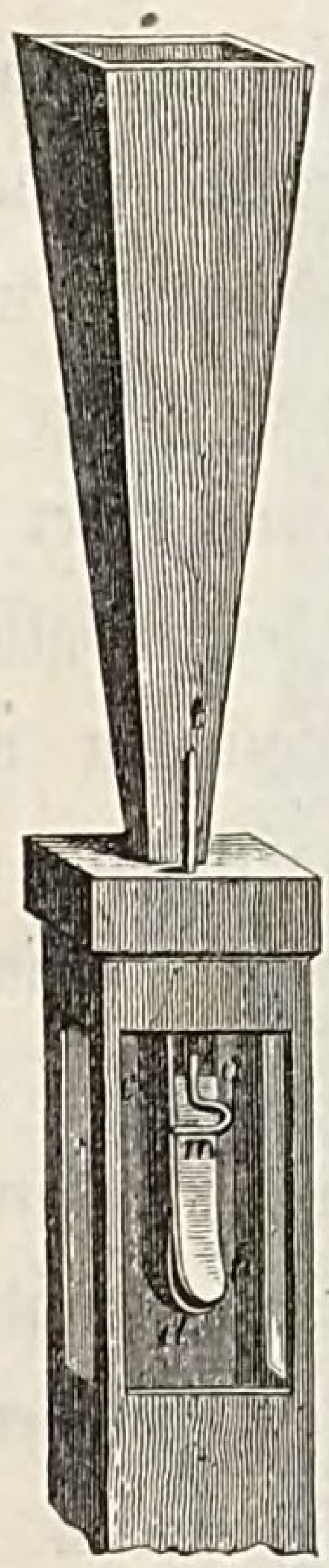


Fig. 114. Aufschlagende Zunge.

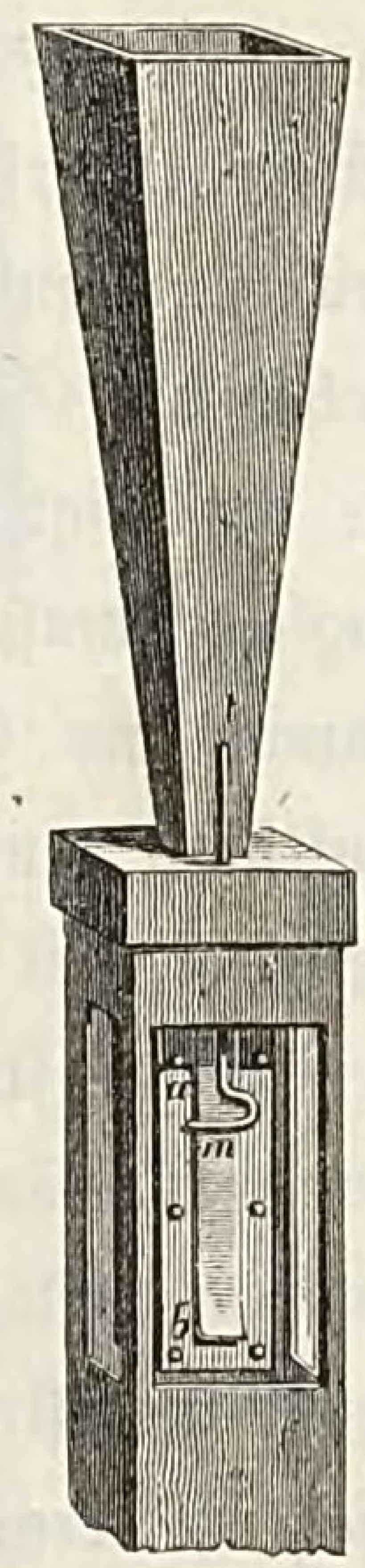


Fig. 115. Einschlagende Zunge.

Sobald die Luft durch die Pfeife hindurch strömt, reißt sie die Zunge mit sich fort, sodaß dieselbe gegen die Kelle schlägt; vermöge ihrer Elasticität schwingt sie aber wieder zurück und fährt in gleicher Weise fort zu schwingen, so lange der Luftstrom anhält, wodurch zugleich die Luftsäule im Körper der Pfeife mit in Schwingung versetzt wird. Eine Zunge von der angegebenen Construction heißt eine aufschlagende Zunge: außer ihr bringt man aber auch einschlagende oder frei schwingende Zungen (Fig. 115) zur Anwendung. Dieselben schwingen vor einem Holzkasten, dessen vordere Oeffnung mit einer Metallplatte bedeckt ist: in dieser Platte befindet sich ein langer schmaler Spalt, in welchen die Zunge genau hineinpaßt. Die frei schwingende Zunge kann daher nach beiden Seiten hin ausschlagen, so-

wohl nach Außen, als auch in das Innere des Kästchens hinein; dadurch werden ihre Schwingungen gleichmäßiger und sie giebt einen weicheren, angenehmeren Ton, als die aufschlagende Zunge, die einen ziemlich scharfen Klang hat.

Fragt man, wodurch der Ton bei den Zungenpfeifen erzeugt wird, so findet man, daß es weniger der feste Körper der Zunge ist, welcher ihn hervorruft, als vielmehr die Luftmasse im Innern der Röhre, die durch das Schwingen der Zunge selbst in Bewegung versetzt wird. Dazu ist freilich erforderlich, daß auch die Zunge mit einer solchen Geschwindigkeit hin- und herschwingt, wie sie der Pfeifenlänge entspricht: es muß daher die Größe der Zunge und die Elasticität des Stoffes, aus dem sie verfertigt ist, genau der Tonhöhe entsprechend vorherbestimmt sein, zugleich muß es aber möglich sein, die Zunge ein wenig zu stimmen, damit ihre Schwingungen mit den Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule genau in Einklang gebracht werden können, und dieses Stimmen geschieht mit Hilfe der Krücke. Wenn wir später von den Registern der Orgel sprechen, werden wir sehen, wie man die durch die Zungen erregten Töne abändern kann, indem man auf die Pfeifen noch besonders gestaltete Schalltrichter aufsetzt; jetzt aber wenden wir uns zu den Blasinstrumenten, bei denen der Ton ebenfalls, wie bei den Zungenpfeifen, erregt wird, wenn auch sonst ihre Gestalt von der der Pfeife einigermaßen abweicht.

Bei der Clarinette (Fig. 116) befindet sich im Mundstück, das aus Bockholz, Ebenholz oder Elfenbein besteht, eine Zunge aus Rohr, welche nur einen schmalen Spalt der Oeffnung freiläßt: der Bläser versetzt diese Platte dadurch in Schwingungen, daß er durch die freibleibende Oeffnung einen Luftstrom sendet und dabei die Unterlippe mit größerer oder geringerer Stärke gegen die Zunge drückt; es vertritt also hier die Lippe des Bläsers die Stelle der Krücke. Die Töne, welche hervorgerufen werden können, wenn die ganze in der Röhre eingeschlossene Luftsäule in Schwingung versetzt wird, d. h. wenn alle Seitenöffnungen der Röhre theils durch die Finger, theils durch Klappen geschlossen sind, bilden dieselbe Reihe, wie die Töne einer offenen Pfeife: es ist also möglich, durch verschiedenes Anblasen außer dem tiefsten Tone, dem Grundtone, noch seine Octave, die darauf folgende Quinte, die zweite Octave, deren Terz und Quinte, u. s. w. erklingen zu lassen. Damit

man nun auch andere Töne erhalten kann, sind seitwärts im Rohre Oeffnungen angebracht, welche theils durch die Finger beider Hände, theils durch Klappen geschlossen werden können; letztere aber werden

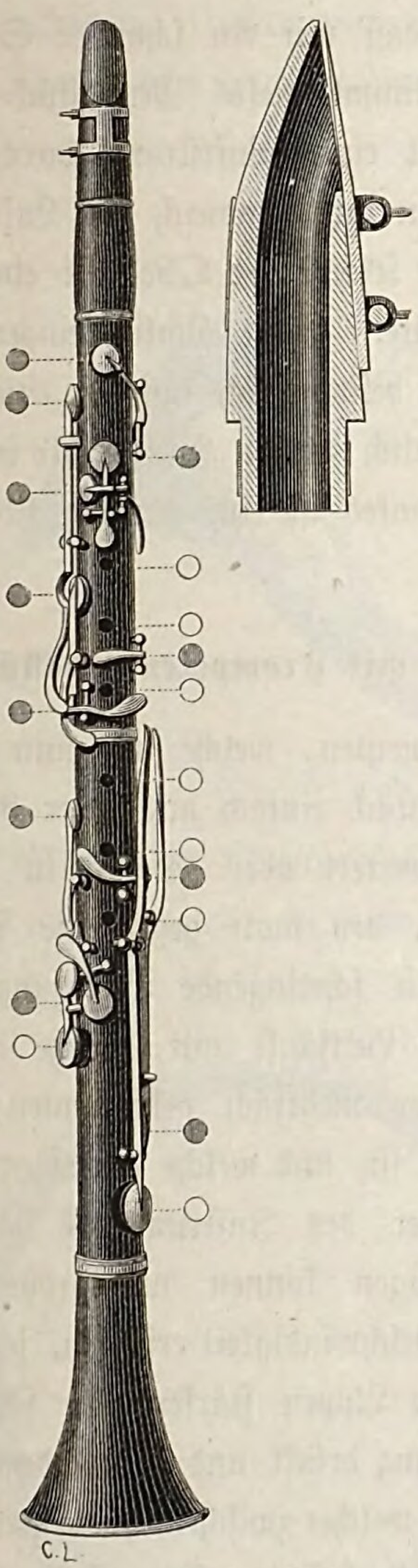


Fig. 116. Die Clarinette. Längsschnitt des Mundstückes.

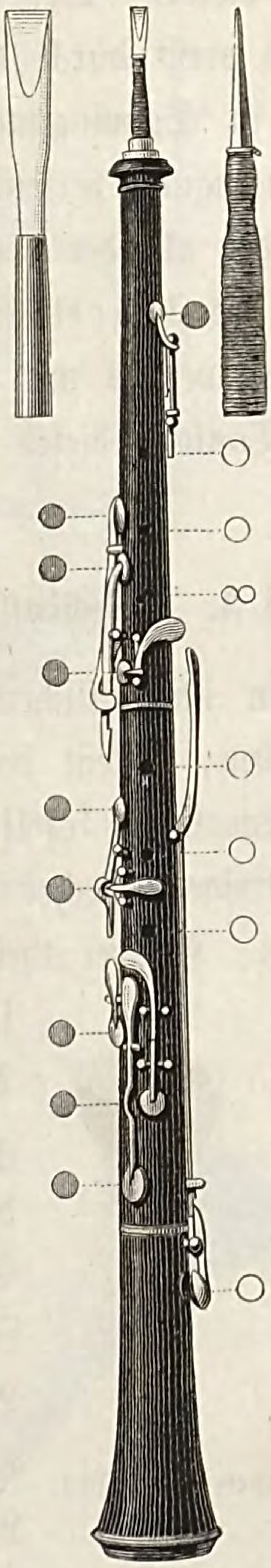


Fig. 117. Die Oboë. Vorder- und Seitenansicht des Mundstückes.

durch federnde Hebel regiert, die Einrichtung derselben ist also ganz ähnlich wie bei der Flöte. Das untere Ende der Röhre erweitert sich ein wenig zu einem Schalltrichter.

Mit der Clarinette hat auch die Oboë (hautbois) in Bezug auf die Bauart des Körpers große Aehnlichkeit, unterscheidet sich von ihr aber besonders durch die Einrichtung des Mundstückes (Fig. 117), welches aus zwei länglichen, gekrümmten Rohrstücken besteht, die mit ihrer hohlen Seite an einander gefügt sind, sodaß nur ein schmaler Spalt zwischen ihnen frei bleibt. Der Bläser nimmt dieses Mundstück zwischen die Lippen und preßt durch den Spalt einen Luftstrom, durch welchen die Rohrstücke in Schwingung gerathen und dadurch die Luft der Röhre mit in Schwingung versetzen. Der Klang der Oboë ist etwas schwächer und näselnder als der der Clarinette. Ganz ähnlich eingerichtet ist das Mundstück des Fagottes: dasselbe befindet sich nur an einem gebogenen Seitenrohre, welches mit dem ziemlich großen Hauptrohre in Verbindung steht; die Tonlage dieses Instrumentes ist eine ziemlich tiefe.

§ 3. Blechinstrumente mit Trompetenmundstück.

Bei den musikalischen Instrumenten, welche wir nun noch zu betrachten haben, besteht das Mundstück einfach aus einer Röhre, welche sich an ihrem Ende kegelförmig erweitert oder daselbst in einen kleinen halbkugelförmigen Becher ausläuft, den man gegen die Lippen drückt (Fig. 118). Hierbei theilt sich die schwingende Bewegung der Lippen selbst der Luftsäule mit, welche innerhalb der Wände der mehrfach gekrümmten Röhre eingeschlossen ist, und welche den eigentlichen tönenden Körper des Instrumentes bildet. Diese Schwingungen können mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit erfolgen, je nachdem der Bläser die Lippen stärker oder schwächer gegen die Oeffnung drückt und je nachdem dadurch der Luftstrom, welcher zwischen ihnen hervorgeht, einen größeren oder geringeren Querschnitt besitzt. Es erfordert eine große Geschicklichkeit, die nur durch Uebung erlangt werden kann, daß man die Größe der Mundöffnung und die Geschwindigkeit und Kraft, mit der man die Luft ausströmen läßt, genau nach den Tönen, die man hervorbringen will, abgleicht, daß man mit anderen Worten die Schwingungen der Lippen mit den Schwingungen des Grundtones des Instrumentes



Fig. 118. Trompetenmundstück.

oder seiner Obertöne in Uebereinstimmung bringt: man nennt diese Fertigkeit den **Ansatz**, und selbst dem geschicktesten Bläser kann es betreffen, daß ihm eines Tages der Ansatz fehlt, wenn er nicht sehr vorsichtig ist.

Zu den wichtigsten Instrumenten dieser Gruppe gehört das **Horn**, welches auch **Waldhorn** genannt wird (Fig. 119): dasselbe besteht aus

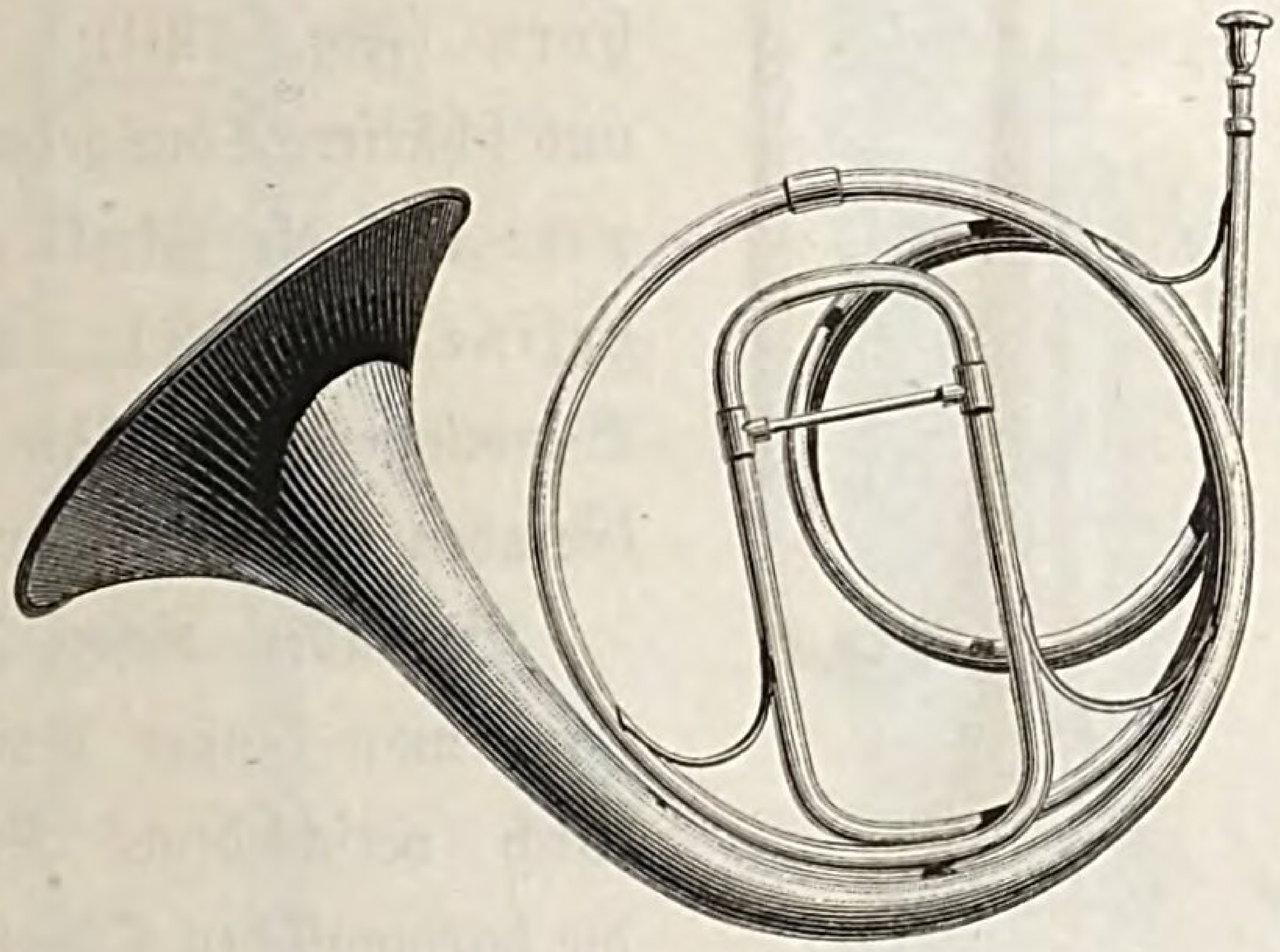


Fig. 119. Das Waldhorn.

einer langen Röhre aus Messingblech, welche in mehreren Windungen gekrümmt ist und einerseits in dem Mundstücke, andererseits in einer

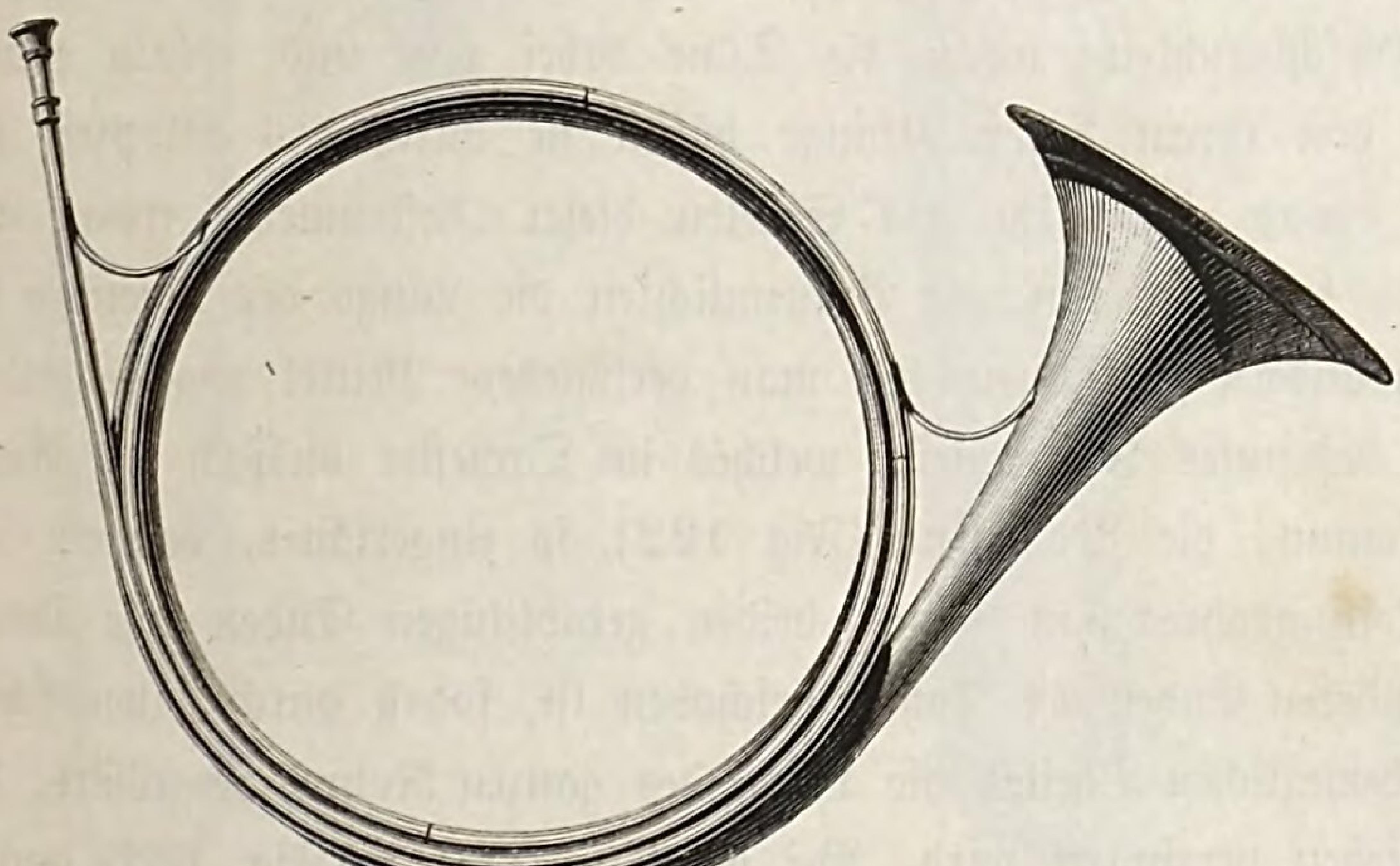
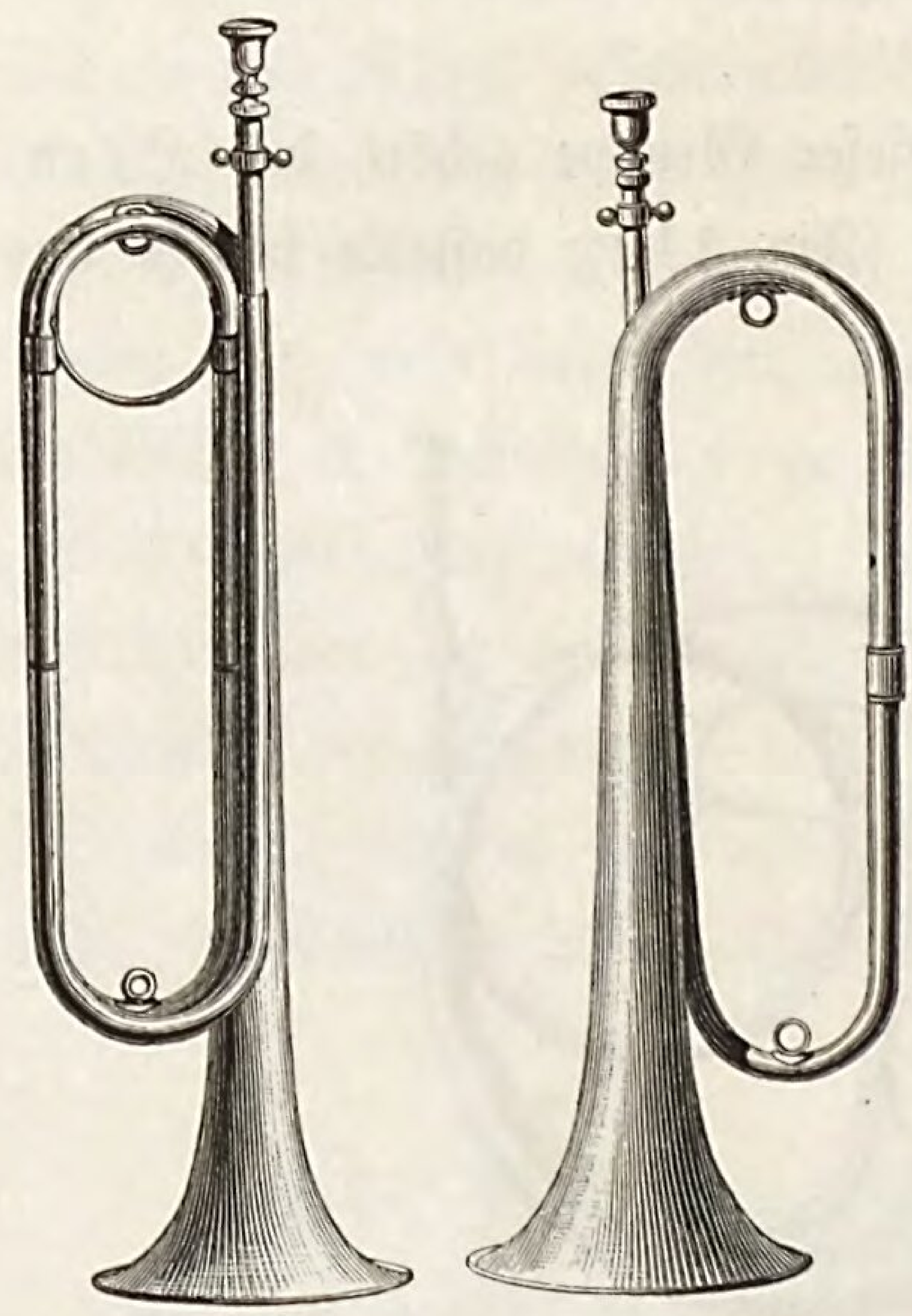


Fig. 120. Das Jagdhorn.

kegelförmigen Erweiterung, dem **Schalltrichter**, endigt. In der Mitte der Röhre ist ein Stück derselben nur eingeschoben, sodaß es leicht durch

ein etwas längeres oder kürzeres ersetzt werden kann; es geschieht dies, wenn man die Grundstimmung des Instrumentes ändern will. Ein ähnlich gestaltetes, etwas größeres Instrument, bei dem die Krümmung der Windungen gewöhnlich noch einfacher ist, das aber etwas schwerer anspricht, ist das Jagdhorn (Fig. 120). Viel höhere und schärfere Töne geben die Trompete und die Zinke oder Trompetine (Fig. 121), bei denen die Windungen der Röhre in parallelen Geraden nebeneinander laufen.


Fig. 121. Trompete und Zinke.

Bei allen diesen Instrumenten kann man außer dem Grundtone durch verschiedenes Anblasen auch die harmonischen Obertöne desselben zum Gehör bringen; will man dagegen die zwischenliegenden Töne der Tonleiter spielen, so muß man die rechte Hand mehr oder weniger weit in die Oeffnung des Schalltrichters einführen. Diese Manipulation, welche man stopfen nennt, erfordert große Geschicklichkeit, wenn die Töne dabei rein und richtig erklingen sollen: von ihrem hellen Klange büßen sie durch das Stopfen jedoch immer etwas ein. Um das Spielen dieser Instrumente etwas zu erleichtern, besonders um mit Bequemlichkeit die Länge der tönenden Luftsäule abändern zu können, hat man verschiedene Mittel angewendet. So ist ein bekanntes Instrument, welches im Orchester vielfach zur Anwendung kommt, die Posaune (Fig. 122), so eingerichtet, daß ein Theil des Messingrohres mit seinen beiden geradlinigen Enden lose über die zwei anderen Enden des Rohres geschoben ist, sodaß durch Hinausschieben dieses beweglichen Theiles die Länge des ganzen Rohres vergrößert, durch Heranziehen verringert wird. Bei der Ophicleïde (Fig. 123) dagegen, einem mächtigen Blasinstrumente, das wegen der Gewalt seines Tones nur in sehr großen Orchestern verwendet werden kann, wird die Verkürzung der Luftsäule in ähnlicher Weise, wie bei Flöte und Clarinette, durch Klappen bewirkt.

Eine dritte Art, wie man die Länge der Luftsäule verändern kann, besteht im Gebrauche von *Ventilen*, wie sie beim *Ventilhorne* und

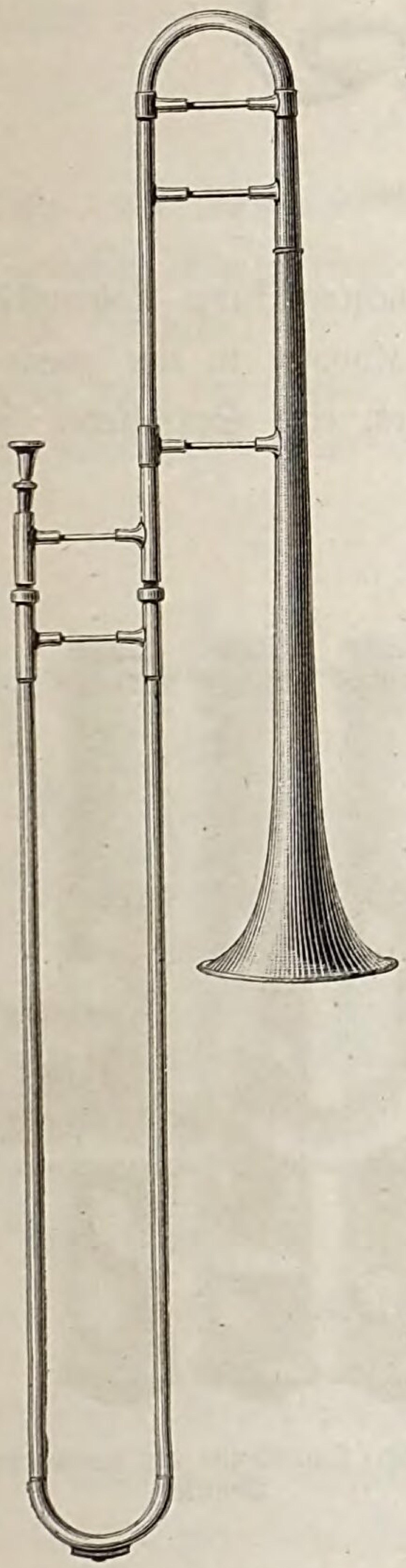


Fig. 122. Die Posaune.

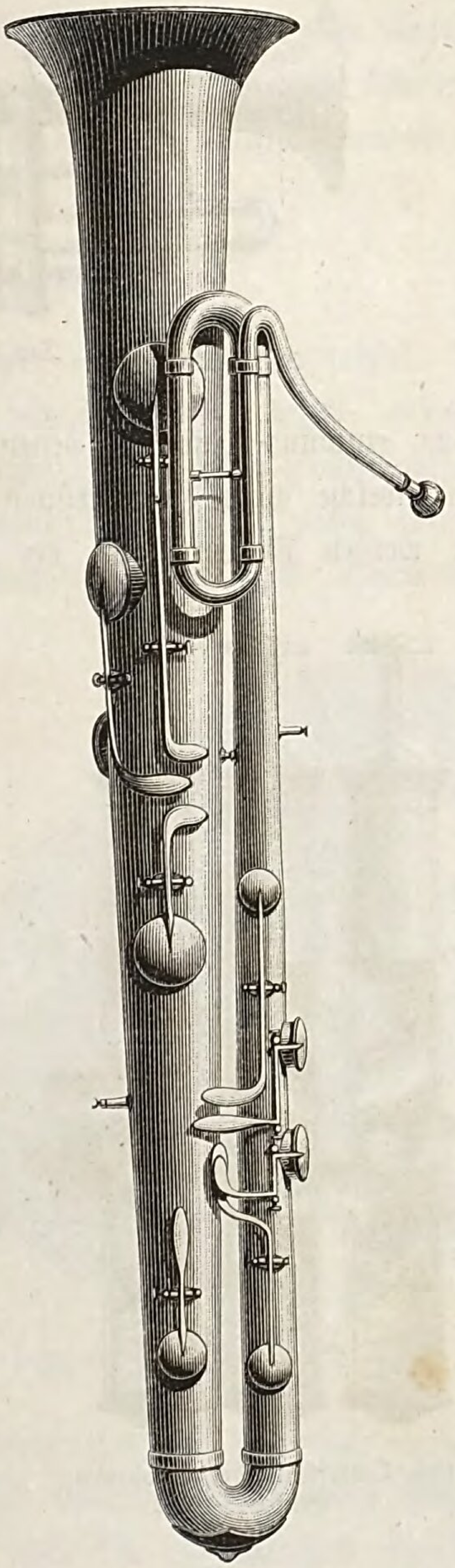


Fig. 123. Die Ophicleïde.

der *Ventiltrompete* (Fig. 124) angebracht sind: zwei Instrumente, welche in unsern Orchestern besonders in der Militairmusik, das einfache

Horn und die gewöhnliche Trompete fast verdrängt haben. Die Ventile (Fig. 125 und 126) bestehen aus zwei oder drei Kapseln, in welche

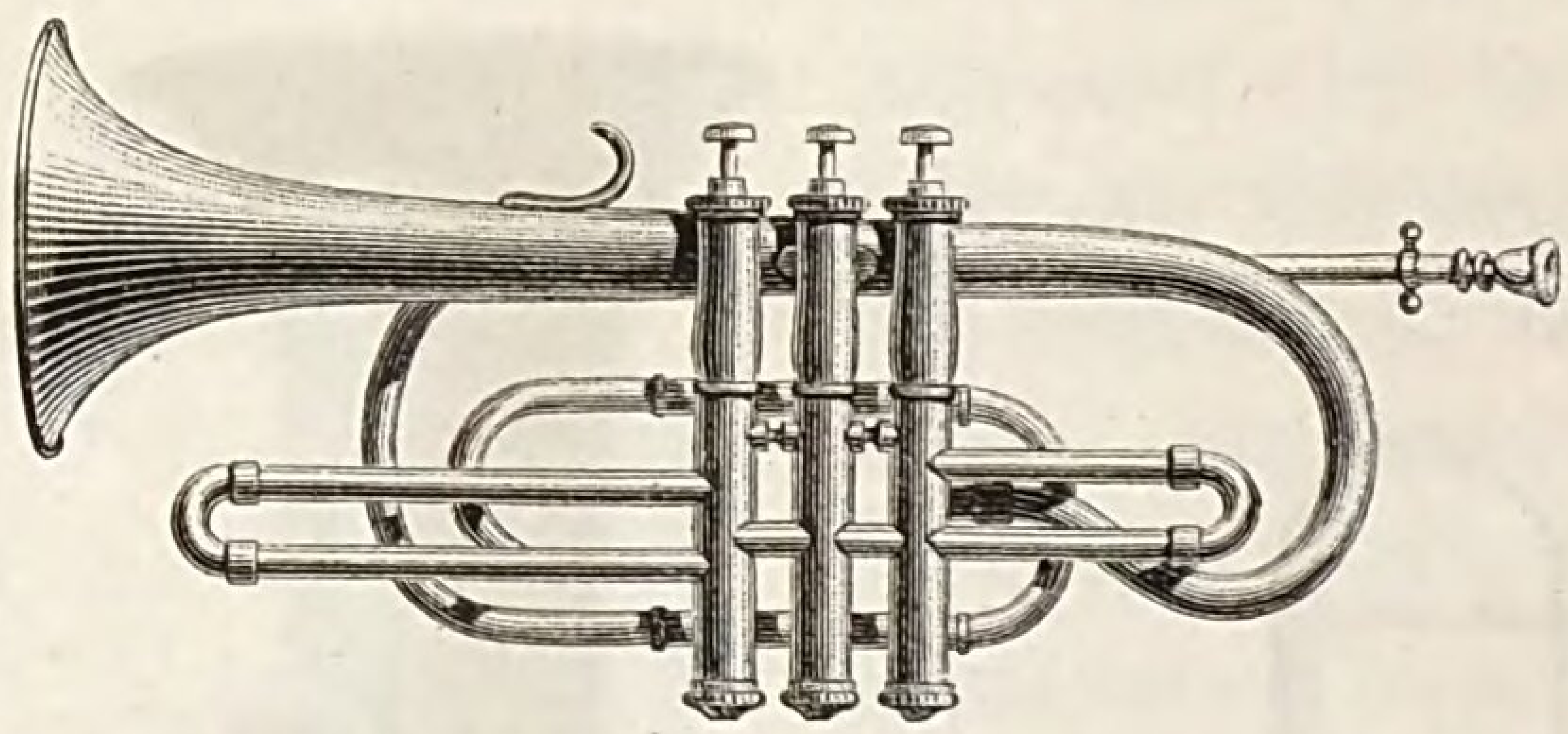


Fig. 124. Die Ventiltrompete.

das Rohr einmündet und in denen sich mehrere kurze Röhrenstückchen befinden, welche durch Herabdrücken eines Knopfes in eine zweite Lage gebracht werden können, aus der sie durch eine Spiralfeder in die

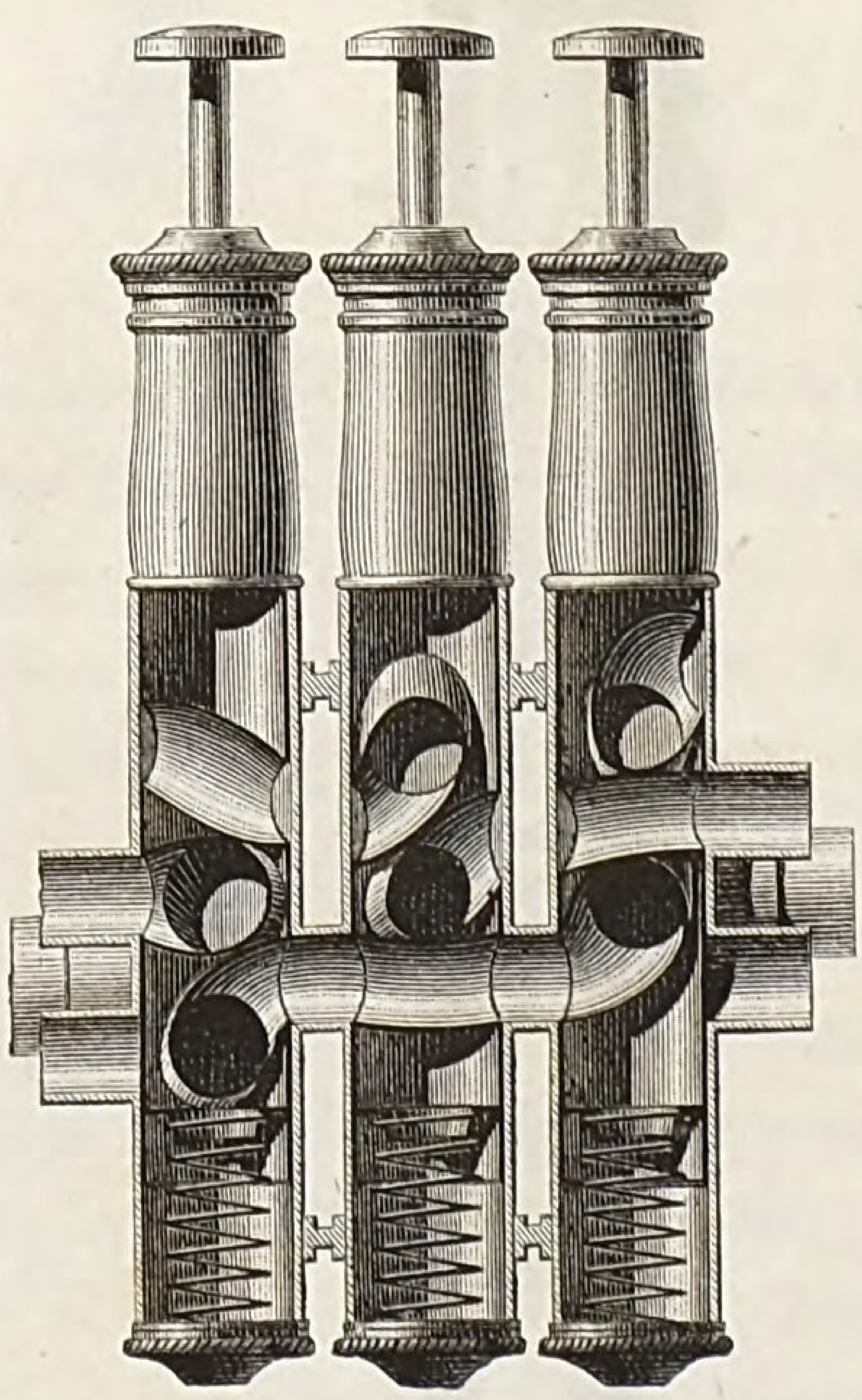


Fig. 125. Querschnitt der gehobenen Ventile.

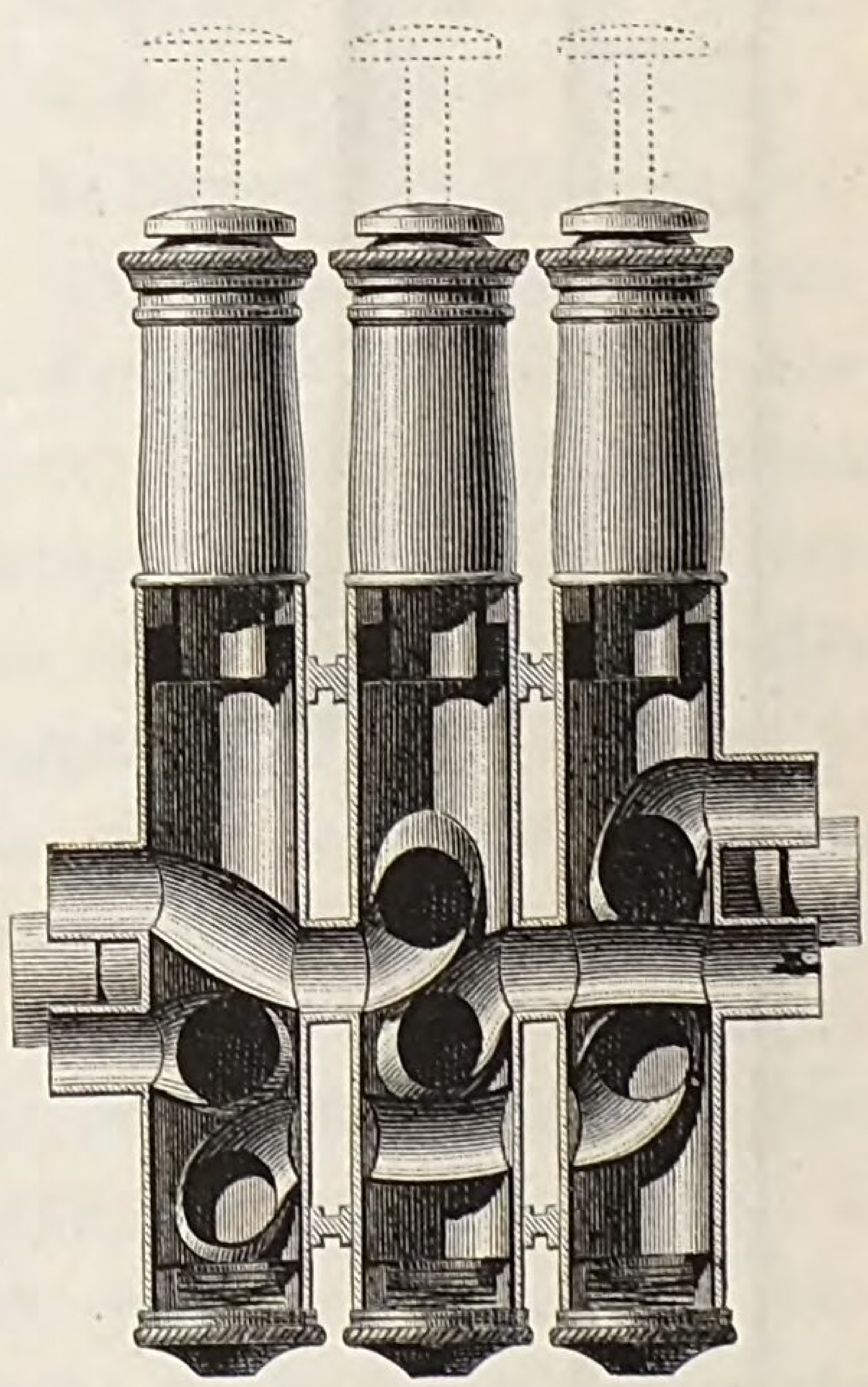


Fig. 126. Querschnitt der herabgedrückten Ventile.

ursprüngliche Lage wieder zurückgeführt werden, sobald der Finger wieder vom Knopfe entfernt ist. Diese Röhrenstückchen sind so angebracht, daß sie bei der einen Lage gewisse Theile des Hauptrohres absperren, welche bei der anderen Lage in den Kreis der Röhrenleitung mit hereingezogen

werden: im ersteren Falle wird also das ganze Rohr um ein Stück verkürzt, und hierdurch werden die Töne entsprechend erhöht. Je nach Bedürfniß kann ein einziges Ventil herabgedrückt werden, oder es ist dies auch gleichzeitig bei mehreren der Fall; dadurch wird die Anzahl der Töne, welche auf demselben Instrumente gespielt werden können, eine viel größere und zugleich wird die Behandlung des Instrumentes wesentlich erleichtert.

§ 4. Der Dudelsack.

Nicht ganz unerwähnt wollen wir ein Instrument lassen, das in einem gewissen Theile seines Baues eine Einrichtung besitzt, welche schon an einen Haupttheil der Orgel erinnert, das also gewissermaßen den Uebergang von den eigentlichen Blasinstrumenten zu jenem zusammengesetzten Instrumente bildet: wir meinen den Dudelsack. Denn während

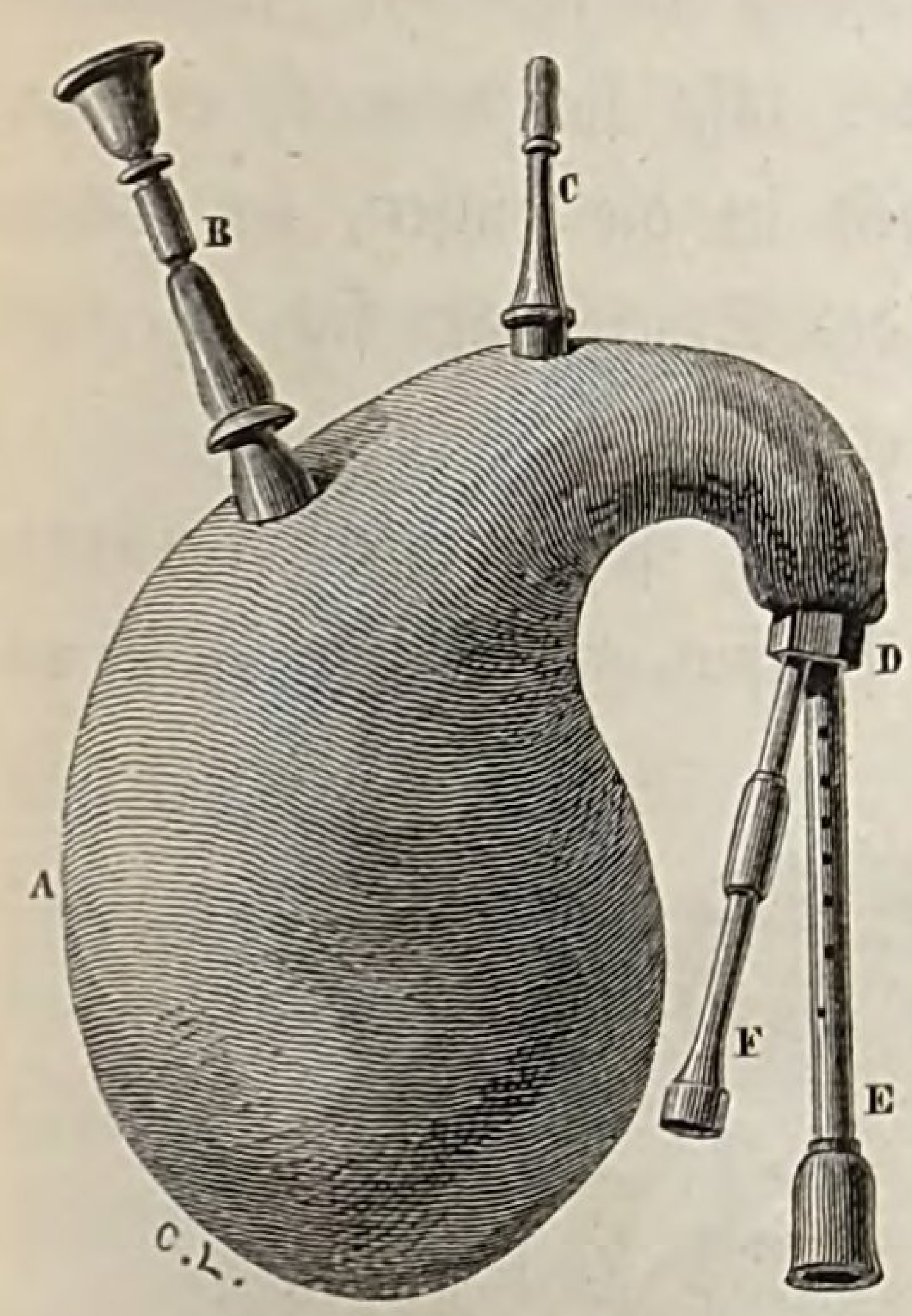


Fig. 127. Einfacher Dudelsack.

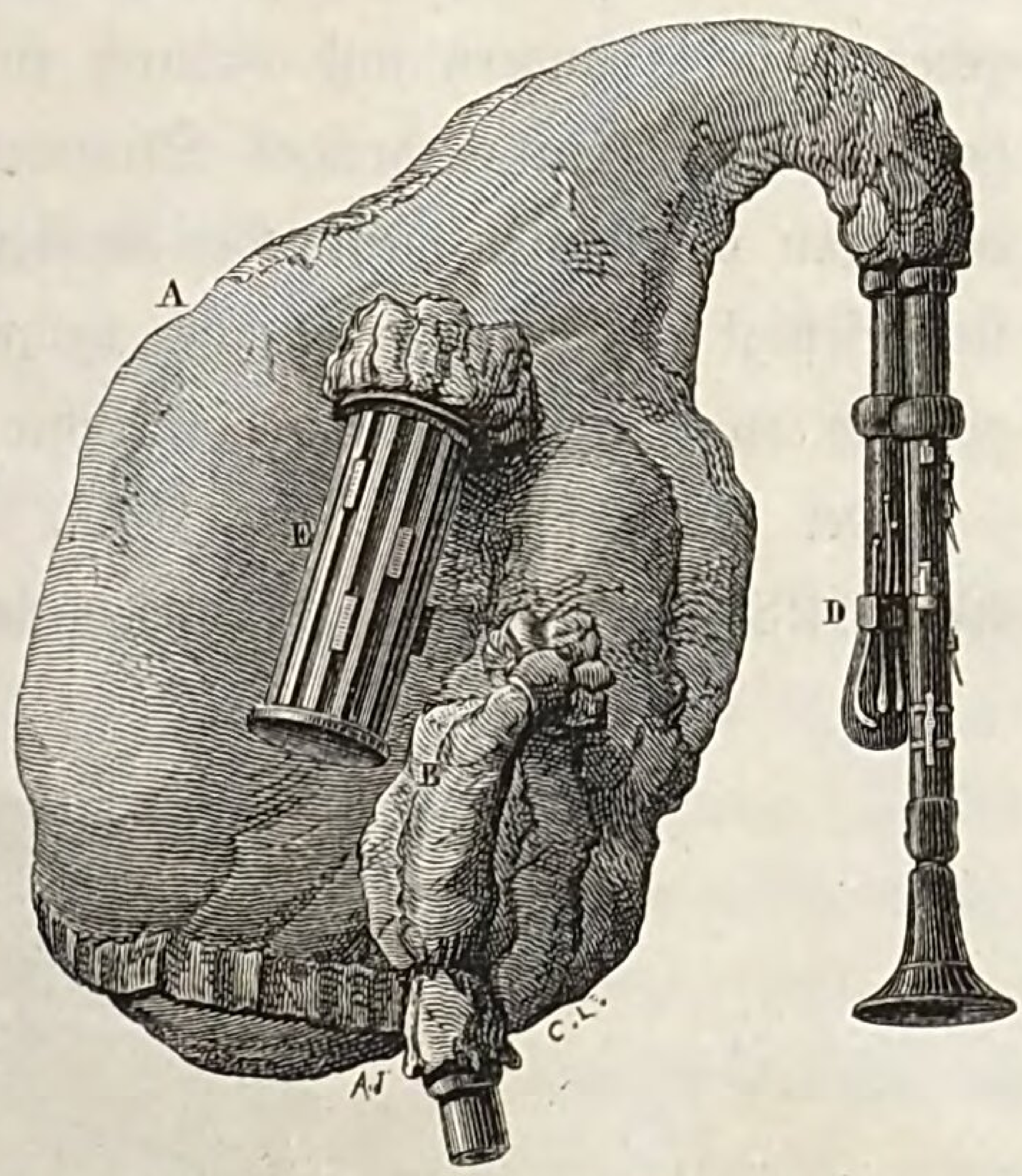


Fig. 128. Verbesserter Dudelsack.

bei den bisher betrachteten Blasinstrumenten der Luftdruck unmittelbar aus dem Munde des Bläsers in das Mundstück der Röhre übergeleitet wurde, finden wir beim Dudelsack noch ein Zwischenglied eingeschaltet, eine Art Blasebalg, in dem ein Vorrath von Luft zur Speisung der Pfeifen angesammelt wird.

Der einfache Dudelsack (Fig. 127) ist ein sehr altes Instrument, da es schon von den Römern unter dem Namen tibia utricularis,

Sackpfeife, erwähnt wird; es war hauptsächlich bei Berg- und Hirtenvölkern im Gebrauch, findet sich jetzt aber höchstens noch in ganz entlegenen Theilen der Alpen, der Bretagne und Schottlands. Es besteht aus einem Schlauche A aus Schafleder, welcher durch eine Röhre C mit dem Munde aufgeblasen wird; diese Röhre ist durch eine Klappe verschlossen, sodaß die Luft zwar durch sie ein- aber nicht wieder ausdringen kann. An diesem Beutel sind nun drei Pfeifen B, E und F angesetzt, in deren Innerem sich je eine Zunge aus Rohr befindet. Die Pfeife B giebt den Grundton, welcher beständig fortklingt, während die Pfeifen E und F mit Löchern versehen sind, welche mit den Fingern geschlossen werden können. Hat der Spieler den Sack aufgeblasen, so nimmt er ihn unter seinen linken Arm und drückt ihn mit dem Ellenbogen zusammen: dadurch entweicht die Luft nach den Pfeifen hin und versetzt die Zungen in Schwingungen. Durch Oeffnen und Schließen der Löcher in E und F läßt sich die Höhe der Töne, welche dieselben geben, beliebig ändern und dadurch eine einfache Melodie im Zusammenhange spielen: ein vorheriges Stimmen aber läßt sich dadurch erreichen, daß man die Pfeifen mehr oder weniger weit in die Hülsen, an welchen sie befestigt sind, einschiebt; auch während des Spieles läßt sich der Luftvorrath durch Einblasen in die Röhre C erneuern.

Der verbesserte Dudelsack, oder die sogenannte musette (Fig. 128) hat künstlich zusammengesetzte Pfeifen, welche wie Flöte und



Fig. 129. Blasebalg für den Dudelsack.

Clarinette mit Klappen versehen sind; die Pfeife E, welche den Grundton angiebt, besteht aus einer Reihe von Röhren, deren jede im Innern

eine Zunge besitzt. Einzelne der Pfeifen sind mehrfach gekrümmt, wodurch ihr Ton, wenn die Klappen alle geschlossen sind, ein ziemlich tiefer wird; an der Pfeife E aber befinden sich Schieber, welche gestatten, daß der Spalt jeder Pfeife theilweise oder vollständig geschlossen und dadurch die Pfeifen zum Schweigen gebracht werden können. Ein weiterer Vortheil, den dieser Dudelsack besitzt, besteht darin, daß seine Füllung nicht durch den Mund bewirkt wird, sondern durch einen Blasebalg (Fig. 129), den der Spieler an seiner rechten Hüfte mit einem Riemen befestigt und in dessen Oeffnung der Luftschlauch B einmündet.

Im siebzehnten Jahrhundert erfreute sich der Dudelsack einer allgemeinen Beliebtheit, sodaß er bei allen Gesellschaftskreisen, ja selbst an den Höfen in Gebrauch war und vielfach mit reichem, äußeren Schmucke ausgestattet wurde; als aber ungefähr von Anfang des achtzehnten Jahrhunderts an die Musik einen höheren Aufschwung nahm, gerieth auch dieses Instrument in Vergessenheit.

Fünftes Kapitel.

Die Orgel.

§ 1. Pfeifen und Stimmen.

Wenden wir uns jetzt zu demjenigen Instrumente, das an Fülle, an Gewalt und an Mannigfaltigkeit der Klänge alle übrigen weit übertrifft, zu der Orgel, deren Name schon andeutet, daß sie von jeher für das vorzüglichste aller Instrumente gehalten worden ist, da das griechische Wort Organon nichts weiter bedeutet, als Werkzeug oder Instrument. Zu welcher Zeit die Orgel erfunden worden ist, läßt sich nicht mit Sicherheit bestimmen, doch scheint die Erfindung weiter zurück zu reichen, als man gewöhnlich annimmt. Ganz unrichtig ist gewiß die Angabe, welche die Erfindung dieses Instrumentes erst in das achte Jahrhundert n. Chr. verlegt, weil im Jahre 757 der griechische Kaiser Constantinus Kopronymus ein solches Instrument an Pipin den Kurzen sendete, der dasselbe in der Kirche von Compiègne aufstellen ließ: denn nach einigen Nachrichten sind schon früher Orgeln aus Griechenland in das westliche Europa gebracht worden, gegen deren Gebrauch aber die abendländische Geistlichkeit sehr abgeneigt war, gerade weil die Erfindung

in Griechenland gemacht worden war und weil schon damals die Rivalität zwischen Morgenland und Abendland in kirchlichen Dingen einen hohen Grad erreicht hatte. Sicher ist, daß schon in sehr frühen Zeiten bei Griechen und Römern ein ähnliches Instrument, die Wasserorgel angewendet wurde, bei welcher die Bewegung der Luft in den Pfeifen durch vorbeifließendes Wasser hervorgerufen wurde; und so ist es sehr wahrscheinlich, daß der Umstand, daß das Wasser die Pfeifen und den Mechanismus des Werkes sehr bald schädigte, auf den Gedanken führte, das strömende Wasser durch einen Luftstrom zu ersetzen. Die ältesten Orgeln waren höchst unvollkommene Instrumente mit nur einer geringen Zahl von Pfeifen; die Tasten hatten eine solche Größe und waren so plump gebaut, daß sie mit der Faust niedergeschlagen werden mußten: daher konnte man das Instrument nur anwenden, um dem Gesange eine Stütze zu geben. Erst allmählich wurden mancherlei Verbesserungen angebracht: so erfand Droßdorf in Mainz im Jahre 1444 das Pedal, und im nächsten Jahrhundert erhielt die Orgel die Gestalt, welche sie im Wesentlichen noch jetzt besitzt, wenn auch besonders im letzten Jahrhundert manche Erweiterungen und Vervollkommnungen angebracht sind.

Bei der Betrachtung der Orgel wollen wir die beiden Haupttheile getrennt behandeln, nämlich den rein musikalischen oder instrumentalen, also das System der Pfeifen, und den mechanischen, durch welchen die Pfeifen zum Tönen gebracht werden.

Die Pfeifen der Orgel unterscheiden sich sehr bedeutend nach Größe und Gestalt, nach der Beschaffenheit des Mundstückes und nach dem Material, aus dem sie verfertigt sind: eine Anzahl besteht aus Holz, andere wieder aus Zinn mit einem Bleizusatze, welcher verschieden angenommen wird, je nach dem Charakter des Klanges, den die Pfeife besitzen soll. Alle Pfeifen von übereinstimmender Bauart und gleicher Klangfarbe, aber verschiedener Tonhöhe, bilden eine Stimme oder ein Register, und zwar geben die Pfeifen derselben der Reihe nach alle Töne der chromatischen Tonleiter durch mehrere Octaven. Wird eine Stimme durch einen Mechanismus, den wir später besprechen wollen, für den Wind zugänglich gemacht, so ertönt immer nur diejenige Pfeife, deren Taste niedergedrückt wird: wenn man also nur eine Stimme freigiebt, so kann man doch ein vollständiges Musikstück spielen, nur daß für jede niedergedrückte Taste je eine Pfeife erklingt; werden dagegen

gleichzeitig mehrere Stimmen freigegeben, so wird auch beim Niederdrücken einer Taste die entsprechende Pfeife aus jeder Stimme klingen, sodaß die Tonerscheinung eine zusammengesetzte ist. Jede Stimme vertritt also die Stelle eines vollständigen Instrumentes, und es ist eine Hauptkunst des Organisten, die Zusammenstellung derselben so zu wählen, wie sie dem Charakter des Musikstücks am angemessensten ist.

Die Tonhöhe ist nicht für alle die Pfeifen aus den verschiedenen Stimmen, welche beim Niederdrücken einer Taste erklingen, die gleiche, sondern manche Stimmen geben höhere, andere tiefere Octaven. Als Haupt-Grundstimmen bezeichnet man diejenigen, bei welchen die Pfeife, welche beim Niederdrücken der Taste erklingt, die mit der Note C bezeichnet wird, in der Secunde ungefähr 64 Doppelschwingungen macht: dies ist aber die Schwingungszahl einer offenen Pfeife von 8′ Länge, und daher bezeichnet man alle Haupt-Grundstimmen als achtfüßige Stimmen. Eine sechzehnfüßige Stimme klingt dagegen um eine, eine zweiunddreißigfüßige um zwei Octaven tiefer, und entsprechend eine vierfüßige Stimme um eine, eine zweifüßige um zwei Octaven höher. Man könnte daher auch nach dem, was wir früher erwähnten, den Contrabaß als ein sechzehnfüßiges Instrument bezeichnen, ebenso wie man sagen kann, daß ein Tenorist, dessen Partie im Violinschlüssel geschrieben ist, sechzehnfüßig, nämlich eine Octave tiefer, als die Noten angeben, singt.

Noch verdienen die sogenannten Mixturen (Fig. 130, 9) besondere Erwähnung, vielgeschmähte Stimmen, die bei falschem Gebrauche höchst lästig werden können, die aber bei richtiger Anwendung kaum zu entbehren sind, wenn es gilt, mit dem Orgeltone den Gesang großer Gemeinden kräftig zu leiten. Bei den Mixturen klingen gleichzeitig mehrere Pfeifen, wenn eine Taste niedergedrückt wird, und zwar sind dieselben auf höhere Octaven, Quinten und Terzen des Tones, für den die Taste eigentlich bestimmt ist, eingestimmt. So kann die Mixtur z. B. so eingerichtet sein, daß, wenn man die Taste C niederdrückt, die Töne c, g, c′ und e′ erklingen: diese Töne sind aber alle Obertöne von C, und wenn letzterer Ton von irgend einem vollklingenden Instrumente gespielt wird, so sind sie im Klange mit enthalten, sodaß die Mixtur gar nichts Neues dem Klange hinzufügt, sondern nur die bereits vorhandenen Obertöne verstärkt. Es darf diese Verstärkung freilich nicht so bedeutend sein, daß dadurch der eigentliche Hauptton dagegen verschwindet, sondern es müssen

die Obertöne immer so zurücktreten, daß sie nur für unser Ohr als eine Färbung des Klanges erscheinen: und deshalb dürfen die Mixturen nur gebraucht werden in Verbindung mit einer größeren Anzahl stark klingender Stimmen.

Wir können hier nicht die einzelnen Stimmen der Orgel jede besonders betrachten, sondern müssen uns damit begnügen, daß wir einige der wichtigeren nennen und durch eine Abbildung darstellen (Fig. 130).

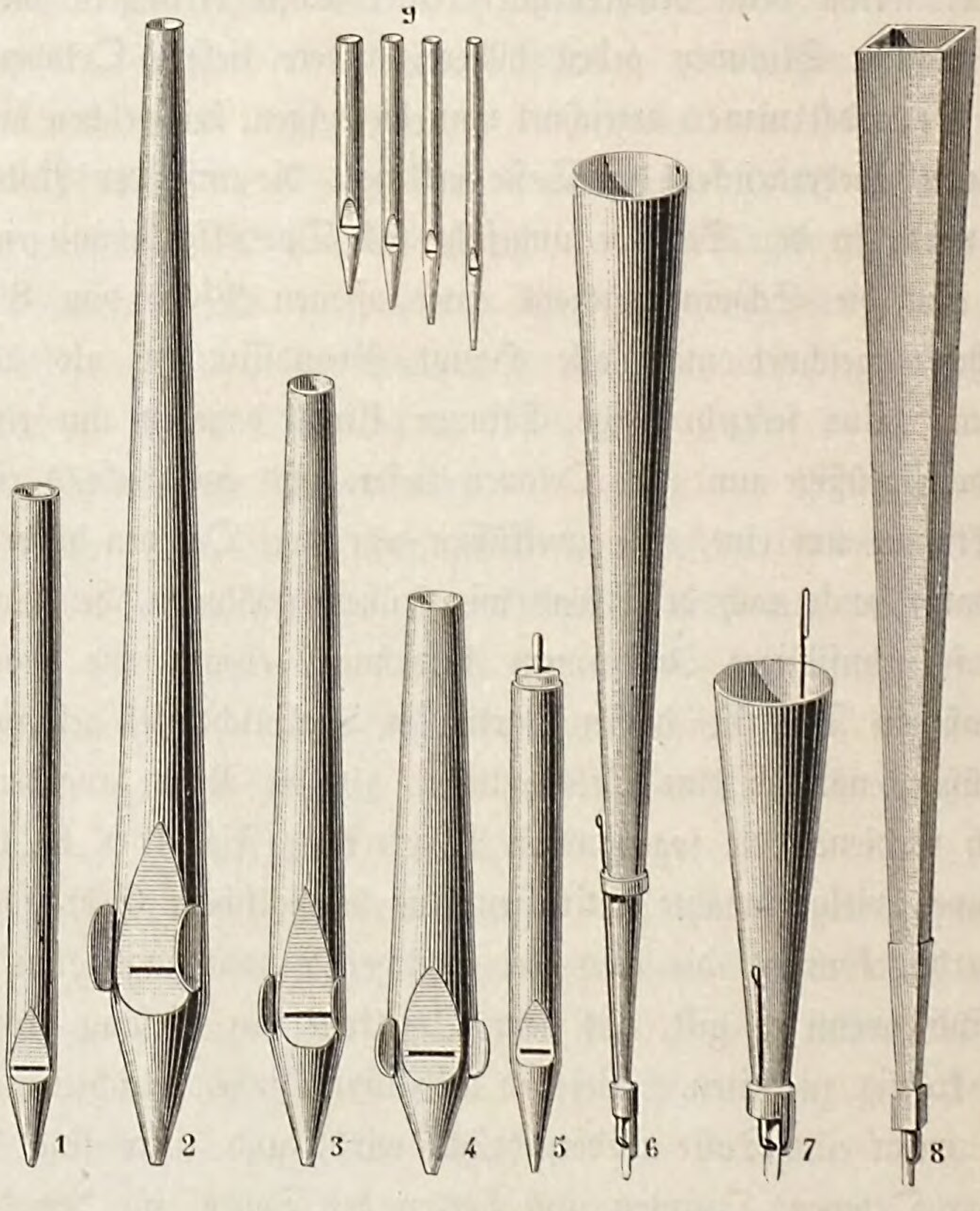


Fig. 130. Orgelpfeifen.
1. Principal 4'. — 2. Nasard 8'. — 3. Nasard 4'. — 4. Cornett. — 5. Rohrflöte. — 6. Trompete. — 7. Vox humana. — 8. Posaunenbaß. — 9. Mixtur.

Die eigentliche Grundlage bilden bei der Orgelmusik gewöhnlich die Principalstimmen, offene Labialpfeifen mit ziemlich starkem Luftzuflusse; dieselben werden gewöhnlich achtfüßig und vierfüßig ausgeführt; die tiefsten Töne übernimmt der Bordun, eine sechzehn- oder achtfüßige Stimme mit gedeckten Pfeifen, welche für die höheren Töne aus Zinn, für die tieferen aus Holz verfertigt werden, oder der Subbaß, welcher eigentlich

nur ein Bordun mit weiten Röhren ist. Der Nasard klingt in der Quinte des Principal, kann also nur bei etwas vollerer Orgel verwendet werden. Die Rohrflöte ist eine halbgedeckte Stimme, da der Deckel oder Hut mit einem Röhrchen versehen ist, wodurch der Ton viel heller wird. Unter den Zungenpfeifen ist besonders wichtig die Vox humana, welche in ihrem Klange der menschlichen Stimme am nächsten kommt; an diese schließt sich die Vox angelica, welche eine Octave höher klingt. Für die tiefen Töne eignet sich unter den Zungenwerken besonders der Posaunenbaß oder die Bombarde.

Die Pfeifen, welche aus Holz verfertigt sind, sind entweder prismatisch, oder sie haben die Gestalt einer vierseitigen Pyramide mit regelmäßiger Grundfläche. Die Metallpfeifen dagegen sind entweder cylindrisch oder kegelförmig, und im letzteren Falle werden sie nach Oben zu enger, oder sie erweitern sich nach Art eines Schalltrichters. Figur 111 zeigt die Gestalt des sechzehnfüßigen Bordun und des sechzehnfüßigen Principalbasses, welcher letztere gewöhnlich in die vorderste Reihe, den sogenannten Prospect der Orgel gestellt wird. Die Pfeifen sind theils offen, theils gedeckt; bisweilen ist aber auch die Deckung nur eine theilweise, wie wir bereits bei der Rohrflöte erwähnt haben. Die gedeckten Holzpfeifen stimmt man mittels eines Holzpfropfen, der mit Leder überzogen ist und den oberen Abschluß der Pfeife bildet: schiebt man denselben weiter herab, so wird der Ton höher, durch die entgegengesetzte Bewegung tiefer. Daß das Stimmen der Zungenpfeifen durch Verschieben der Krücke ausgeführt wird, haben wir bereits erwähnt. An den Zinnpfeifen brachte man früher neben dem Aufschnitte biegsame Platten aus Blech an, welche man Ohren nannte, um durch dieselben das Strömen der Luft zu reguliren, was auch auf die Stimmung nicht ohne Einfluß ist; jetzt kommen diese Ohren nur noch wenig zur Verwendung.

Nicht alle Stimmen der Orgel haben denselben Umfang: die hauptsächlichsten zwar besitzen für jede Taste der Claviatur, welche gewöhnlich vier bis vier und ein halb Octave umfaßt, eine Pfeife, so besonders die Principalstimmen: andere dagegen reichen nur über die Hälfte, und zwar bald über die untere, bald über die obere Hälfte hinweg; und endlich giebt es noch Stimmen, welche vollständig dem Pedale angehören.

Je nach der Größe besitzt die Orgel mehr oder weniger Stimmen, man rechnet etwa für eine nicht ganz kleine Orgel dreißig verschiedene

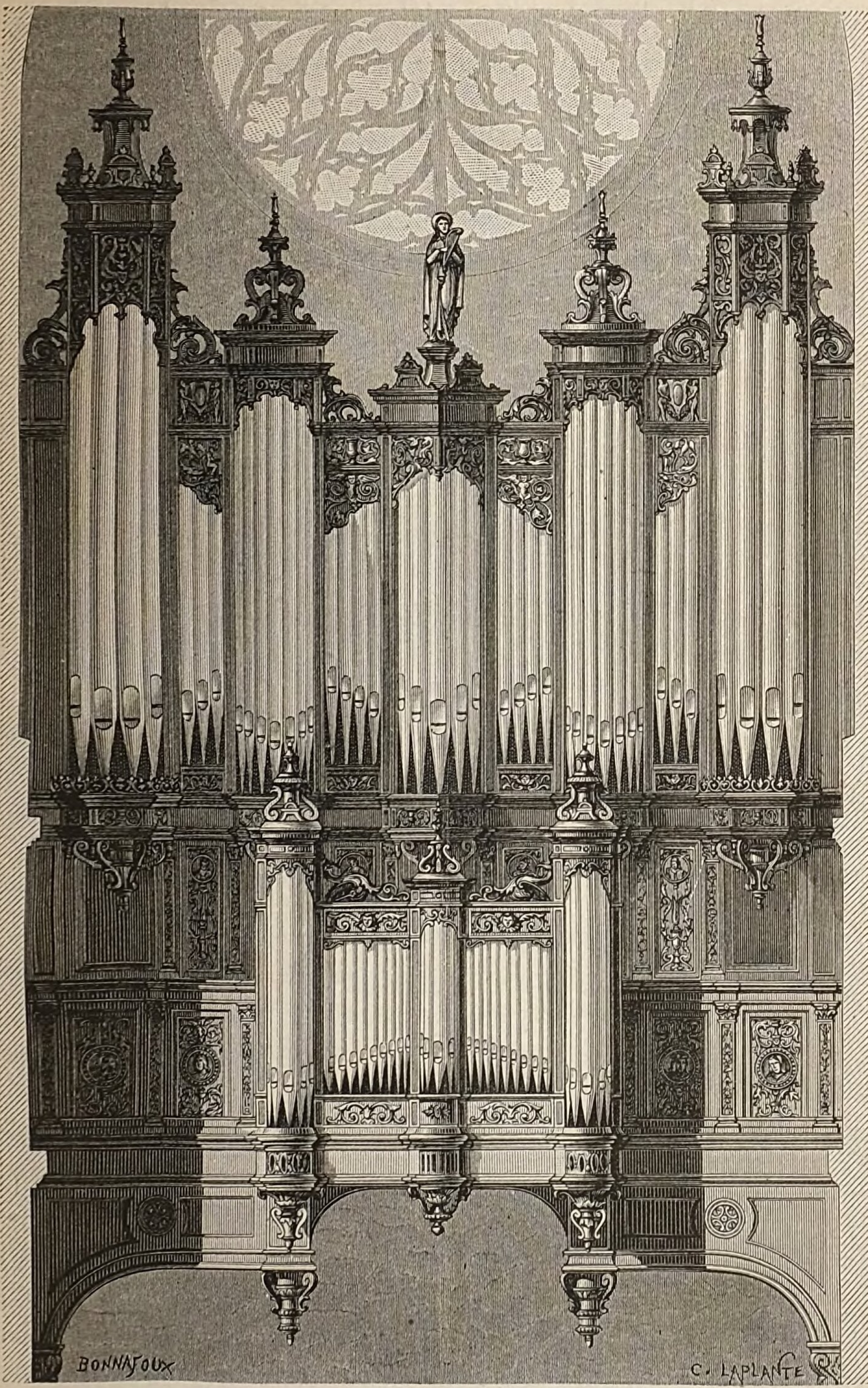
Stimmen, von denen fünf dem Pedale angehören: doch giebt es auch sehr große Orgeln, bei denen die Zahl der Stimmen eine weit größere ist. So besitzt die Orgel in Harlem 60 Stimmen und 5000 Pfeifen; die Orgeln von Liverpool und Ulm dagegen haben je 100 Stimmen; dieselbe Zahl von Stimmen und etwa 7000 klingende Pfeifen besitzt auch die Orgel der Kirche Saint Sulpice in Paris, die wohl zu den größten zu rechnen ist.

§ 2. Mechanismus der Orgel.

Nachdem wir über die Beschaffenheit der Pfeifen und deren Zusammenfassung zu Stimmen einige Mittheilungen gemacht haben, wollen wir nun betrachten, wie diese Pfeifen aufgestellt werden und durch welche Mittel der Spieler bewirken kann, daß sie nacheinander oder gleichzeitig ertönen, so wie es die melodische und harmonische Führung des Stückes, das er spielt, verlangt, endlich auch wie er die Wahl zwischen den Stimmen, welche erklingen sollen, treffen kann. Wir beginnen mit der Betrachtung der Orgel im Ganzen und geben dazu in Tafel VIII die Abbildung eines sehr schön ausgestatteten Werkes.

Alle Pfeifen der verschiedenen Stimmen stehen aufrecht in einer Art von Schrank, dem Gehäuse der Orgel, welches gewöhnlich mit entsprechendem Schmucke verziert ist. In der vorderen Fläche, dem Prospecte, befinden sich in einzelnen Abtheilungen, welche Felder oder Thürme heißen, Metallpfeifen, welche entweder klingend sind und dann gewissen Stimmen der Orgel angehören, oder nur als Zierde dienen; darnach unterscheidet man den klingenden und den blinden Prospect. Bei manchen Orgeln, z. B. bei der abgebildeten, steht vor dem größeren Gehäuse, welches dann Hauptwerk heißt, noch ein kleineres Gehäuse mit Pfeifen, das Positiv; in diesem Falle befindet sich der Platz des Organisten in der Regel zwischen beiden Werken. Hierzu kommt öfters noch über dem Hauptwerke eine dritte Abtheilung mit besonderem Windkasten und Pfeifen, das Oberwerk, welches hauptsächlich sanftere Stimmen für den Vortrag von Solostücken enthält.

Der Druck der Luft wird durch Blasebälge hervorgerufen, welche bei den gewöhnlichen Orgeln durch Herabtreten mit dem Fuße, bei sehr großen aber durch Benutzung anderer Kräfte gefüllt werden. Von besonderer Wichtigkeit ist es, daß die Luft immer die richtige Spannung



Orgel der Kirche zu Saint-Brieux.

besitzt, was sich durch einen Apparat, die Windwage, prüfen läßt, den Förner im Jahre 1677 erfunden hat; derselbe besteht aus einem Blechkasten, welcher mit Wasser gefüllt ist, das durch den Druck der Luft in ein Glasrohr hinaufgepreßt wird: man mißt die Höhe dieser Wassersäule nach Zollen und bezeichnet den zehnten Theil eines Zolles als einen Grad; steht also das Wasser 3″ hoch, so sagt man, der Wind habe 30°.

Aus dem Blasebalg strömt die Luft durch einen Verbindungsweg, den Kropf, in den Hauptkanal, und von dort aus in den Windkasten AB (Fig. 131). Ueber diesem Windkasten liegt nun die Wind-

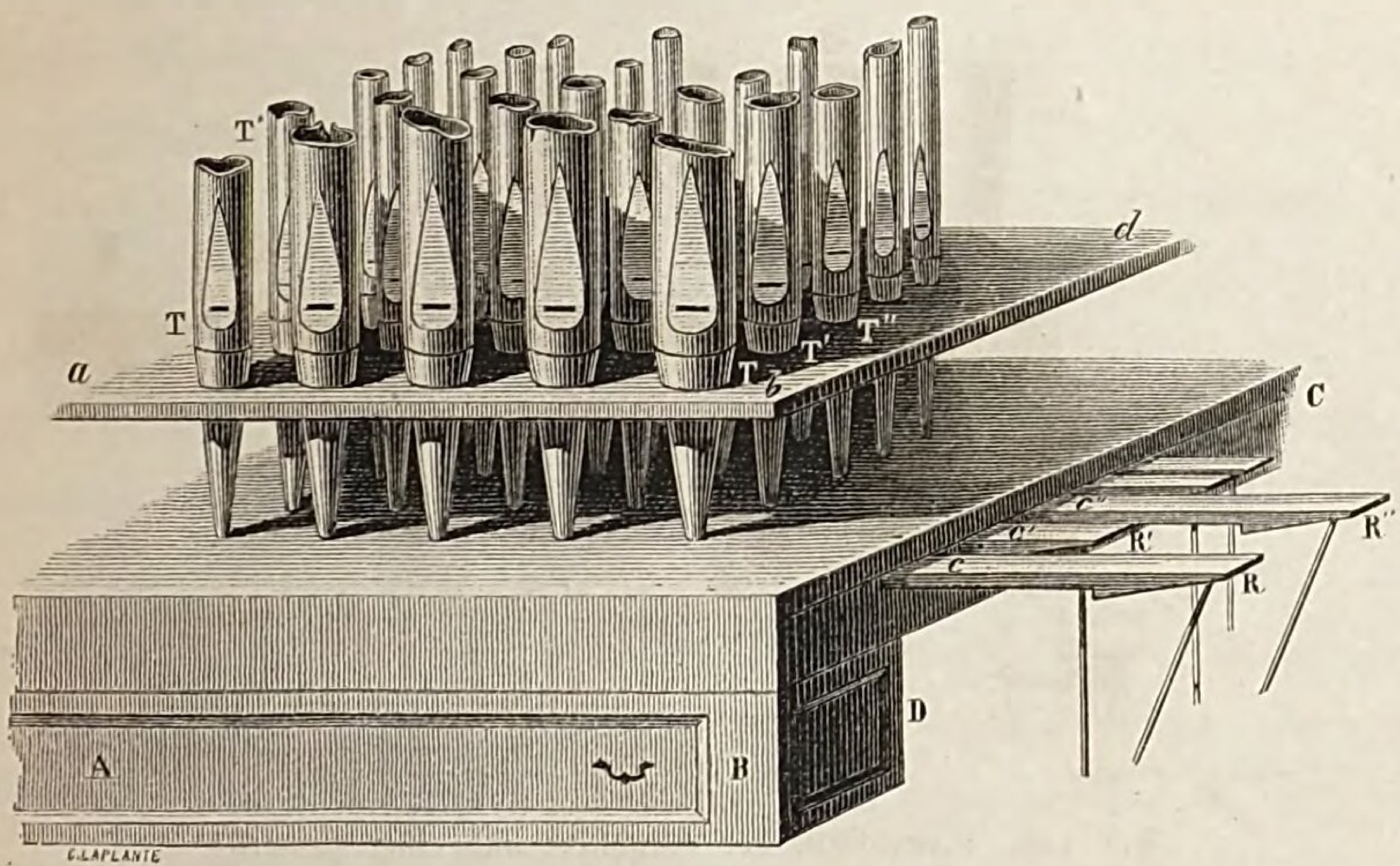


Fig. 131. Windlade mit ihren Pfeifen.

lade, auf welcher die Pfeifen T in einer bestimmten Anordnung aufgestellt sind. Damit die Stellung der Pfeifen eine feste ist, stehen dieselben nicht nur in den Bohrungen des oberen Deckels der Windlade, welcher Pfeifenstock heißt, sondern werden weiter oben noch durch eine Holztafel abd gehalten. Sie sind so angeordnet, daß alle Pfeifen, welche zu einer Stimme gehören, in derselben Reihe quer herüberstehen, daß sich aber alle Pfeifen aus den verschiedenen Stimmen, welche auf dieselbe Tonhöhe gestimmt sind, in einer nach hinten gehenden Reihe über einem gemeinsamen Kanale, welcher Cancelle heißt, stehen. Für gewöhnlich sind die Oeffnungen, auf denen die Pfeifen stehen, geschlossen: sobald aber die Schieber cR, c^1 R^1, ..., welche Schleifen heißen, herausgezogen werden, so werden alle Pfeifen, welche zu einer Stimme

gehören, frei, und stehen mit der entsprechenden Cancelle in Verbindung. Dieses Herausziehen der Schleifen wird durch ein Hebelwerk bewirkt, das in einem Knopfe neben der Claviatur endigt; jedes solches Hebelwerk mit Schleife heißt ein Registerzug. Jede Cancelle AB (Fig. 132) ist nach der Windlade L hin durch eine Klappe S, das Spielventil geschlossen, welche durch eine Feder r festgedrückt wird und sich nur öffnet und dadurch der Luft freien Zutritt in die Cancelle gestattet, wenn die entsprechende Taste der Claviatur niedergedrückt wird. Durch das Niederdrücken der Taste wird nämlich ein langer dünner Stab d, welcher ein Abstract heißt, herangezogen, sodaß nunmehr bei der in

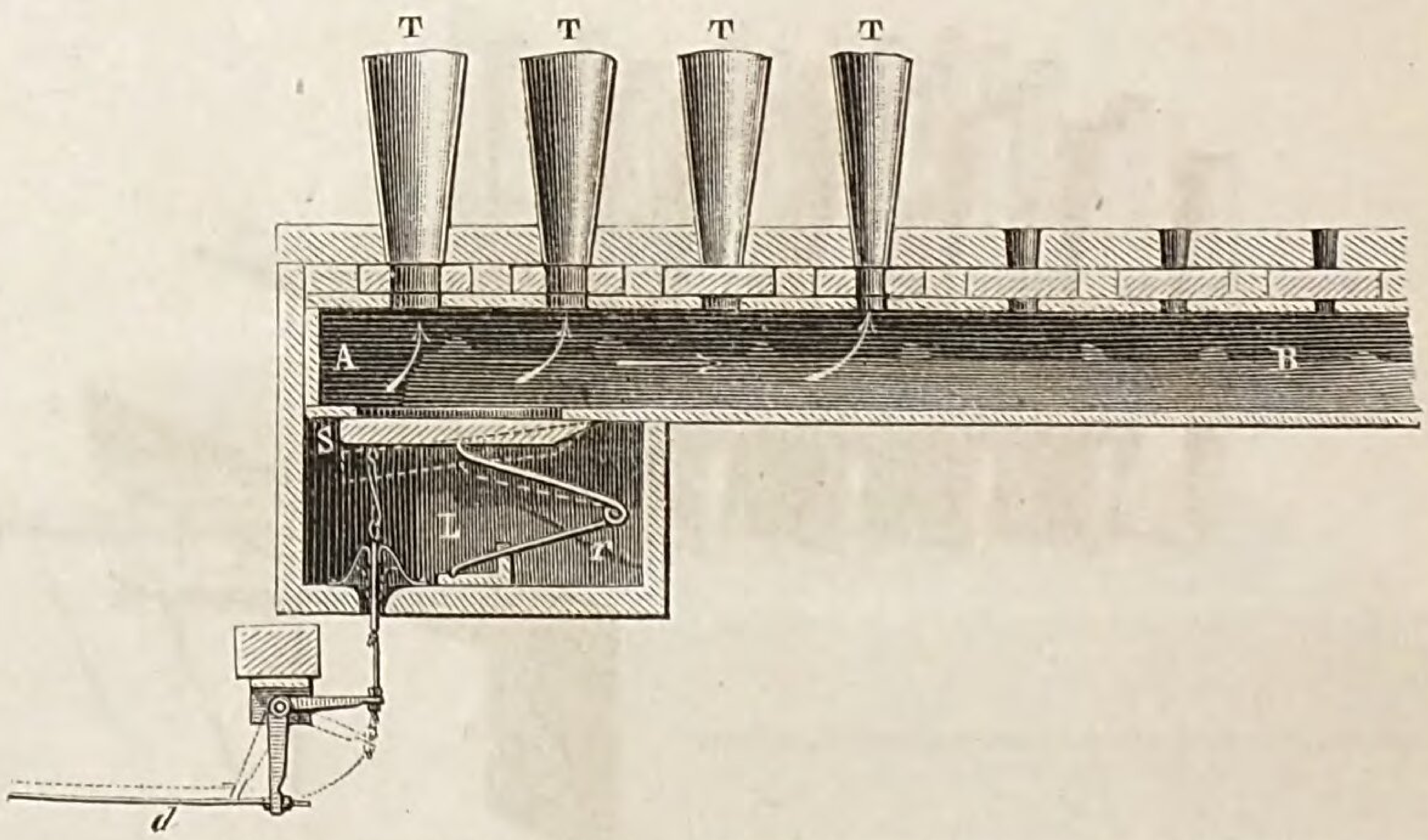


Fig. 132. Querschnitt der Windlade und einer Cancelle.

Figur 132 gewählten Anordnung die Luft in die erste, zweite und vierte Pfeife eindringen kann, weil deren Register gezogen sind, während die dritte Pfeife schweigt, da sie durch die Schleife abgeschlossen ist. Damit der Wind nicht aus einer Cancelle in die benachbarte hinüberdringen kann, müssen beide durch eine feste Scheidewand von einander getrennt sein; man nennt diese Scheidewände Schiede. Den Pfeifenstock fertigt man am besten nicht aus einem einzigen Stück, welches man auf die Schiede aufleimt, weil es sonst leicht vorkommen kann, daß der Wind über den Schied hinweg einen Weg aus einer Cancelle in die benachbarte findet, sondern man deckt jede einzelne Cancelle durch einen langen Holzstreifen, den man in die Schiede gut einfalzt.

Die Reihenfolge der Manipulationen ist also diese. Sobald die Bälge gefüllt sind, strömt die Luft durch Kropf und Hauptkanal in die

einzelnen Windkasten, aus denen sie aber noch nicht in die Cancellen übergehen kann, weil dieselben noch alle durch ihre Klappen verschlossen sind. Der Organist zieht nun zuerst die Register der Stimmen, die er für das Musikstück als die geeignetsten hält; dadurch werden die entsprechenden Schleifen herausgezogen und die Oeffnungen der Pfeifen, welche den Stimmen angehören, nach den betreffenden Cancellen hin freigelegt. Sobald nun das eigentliche Spiel beginnt, so werden alle diejenigen Cancellen geöffnet, für welche die entsprechenden Tasten niedergedrückt werden, sodaß alle die Pfeifen aus den verschiedenen Stimmen, welche auf den geöffneten Cancellen stehen, gleichzeitig erklingen.

Die Claviatur der Orgel besteht aus dem Pedal und einem oder mehreren Manualen. Das Pedal hat sehr große Holztasten, welche in ganz ähnlicher Weise angeordnet sind, wie die Tasten der Claviaturen, und dem Umfange nach gewöhnlich von C bis d', also etwas über zwei Octaven weit reichen: dasselbe wird mit den beiden Füßen gespielt. Die Manuale, welche gewöhnlich von C bis f''', also 4½ Octave weit reichen, haben ganz das Aussehen der Claviertasten; sind mehrere Manuale angebracht, so müssen dieselben so nahe schräg über einander liegen, daß die Hand leicht von dem einen auf das andere übergehen kann. Das höchste Manual dient dem Oberwerke, das unterste, wenn drei vorhanden sind, dem Positiv, und das mittelste dem Hauptwerke. Durch besondere Züge können die Claviaturen so miteinander verbunden werden, daß beim Spielen auf der einen Claviatur zugleich die Tasten der anderen mit herabfallen: man nennt diese Züge Koppeln, und zwar den Zug, der das Pedal mit dem Hauptwerke vereinigt, die Pedalkoppel, den Zug aber, welcher die Manuale unter sich verbindet, die Manualkoppel.

Diese Bemerkungen gelten für alle Orgeln; bei sehr großen Instrumenten ist dagegen noch mancherlei zu beachten; besonders macht die richtige Vertheilung des Windes bisweilen große Schwierigkeiten, zumal da die Pfeifen von verschiedener Größe auch sehr verschiedene Luftmengen erfordern: und weiter erfordert das Niederdrücken der Taste bei großen Werken ziemliche Anstrengung, weil dabei der nicht geringe Druck überwunden werden muß, mit welchem die Luft die Klappen gegen die Cancellen preßt. Wir wollen daher jetzt noch einige Einzelheiten hinzufügen. Bei der großen Orgel der Kirche Notre-Dame in Paris sammelt sich der Wind zunächst in einem doppelten Behälter, welcher durch vier Paare

von Pumpen gespeist wird, die ihm in der Secunde 400 Liter Luft zuführen können; außerdem ist aber auch noch ein zweites Windsystem mit hohem Drucke angebracht, welchem zwei Paare von Pumpen in der Secunde 200 Liter Luft liefern. Aus diesen Windsystemen fließt die Luft in diejenigen Behälter, aus denen die Windladen der einzelnen Abtheilungen der Orgel gespeist werden, und zwar giebt es für das Hauptwerk vier große Behälter, die in der Nähe der Windladen aufgestellt sind und für die richtige Vertheilung des Windes nach den Stimmen hin sorgen, und weitere zwei Behälter mit höherem Drucke; für jedes der vier Nebenwerke, nämlich für das Oberwerk, das große Chor, das Oberwerk des Positiv und der Bombarde ist ebenfalls je ein Behälter als Regulator aufgestellt, und weiter sind noch eine ziemliche Anzahl von Recipienten für die Luft durch das ganze Werk der Orgel vertheilt, welche durch federnde Klappen abgeschlossen sind und verhindern sollen, daß der Druck der Luft irgend welche Veränderung erleide. Man wird leicht einsehen, daß es nothwendig war, ein so zusammengesetztes Windsystem, das nicht weniger als 25,000 Liter comprimirte Luft enthält, anzuwenden, wenn man bedenkt, daß manche von den kleineren Pfeifen in der Secunde kaum ein Centiliter Luft verbrauchen, während jeder Pfeife in den großen, zweiunddreißigfüßigen Registern in derselben Zeit 70 Liter geliefert werden müssen.

Soll ein so großes Werk gespielt werden, so erfordert das Oeffnen der Klappen, welche die Cancellen abschließen, eine nicht geringe Kraft, da die Oberfläche derselben ziemlich bedeutend ist und auf ihr der Druck der comprimirten Luft lastet; wollte man also die Spielventile durch das Niederdrücken der Tasten nur unter Vermittelung der Abstracten öffnen, so würde das Spiel sehr ermüdend, ja fast unausführbar sein. Dieser Uebelstand ist nun durch eine Einrichtung beseitigt worden, welche von Barker ersonnen wurde: zwischen jede Taste und ihr Spielventil wird nämlich noch ein kleiner Blasebalg eingeschaltet, welcher mit dem Windsystem der Orgel in Verbindung gesetzt wird, sobald die Taste niedergedrückt wird. Die Klappe für diesen Blasebalg kann viel kleiner sein, sodaß also um sie zu öffnen, bei weitem nicht dieselbe Kraft erforderlich ist, wie beim Spielventil, welches letztere nun dadurch, daß sich der kleinere Blasebalg füllt, aufgedrückt wird: das Niederdrücken der Taste löst also nur das Druckwerk aus, das nunmehr die Arbeit ver-

richtet und dazu die nöthige Kraft von den Compressionspumpen erhält. Cavaillé-Coll hat diesen Mechanismus noch etwas verbessert und ihn auch für die Registerzüge zur Anwendung gebracht, sodaß diese Nebenarbeiten nur noch wenig Anstrengung erfordern und der Organist seine ganze Kraft auf den eigentlich musikalischen Theil seiner Aufgabe verwenden kann. Eine andere sehr einfache und sinnreiche Einrichtung, durch welche sich jene Schwierigkeit heben läßt, ist von Buchholz angegeben und bei einigen Orgeln angebracht worden: derselbe versieht jedes Spielventil noch mit einer kleinen Klappe, die sich zuerst öffnet und der Luft den Zutritt in die Cancelle gestattet, sodaß der Druck der Luft gegen das Spielventil von beiden Seiten derselbe ist und nur noch so viel Kraft gebraucht wird, als zum Niederdrücken der Feder erforderlich ist.

Auch die Zahl der Stimmen, sowie die Mannigfaltigkeit in ihrer Klangfärbung ist bei den neueren Orgeln bedeutend erhöht worden: so besitzt die Orgel von Notre-Dame nicht weniger als fünf Claviaturen

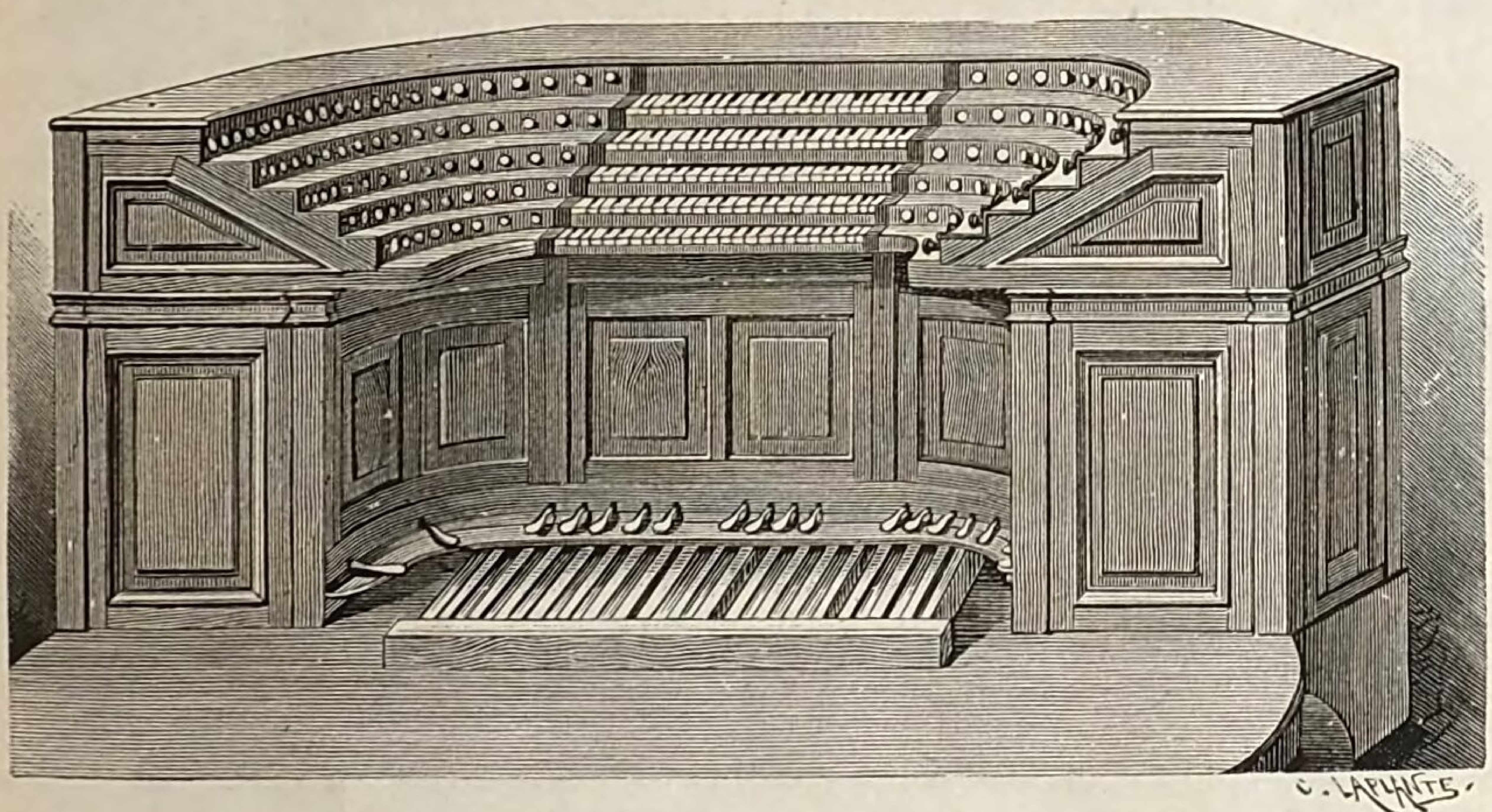


Fig. 133. Claviatur der Orgel von Notre-Dame in Paris.

im Manuale und eine im Pedale (Fig. 133); die Stimmen aber sind folgendermaßen auf die Claviaturen vertheilt:

Claviatur des Pedales . . .	16	Stimmen	mit	480	Pfeifen,
= des großen Chores .	12	=	=	672	=
= des Hauptwerkes .	14	=	=	1088	=
= der Bombarden . .	14	=	=	945	=
= des Positives . . .	14	=	=	989	=
= des Oberwerkes . .	16	=	=	1072	=

Die Claviatur des Pedales erstreckt sich durch 2½ Octaven über 30 Noten von C bis f', die jedes Manuales durch 4½ Octaven über 56 Noten von C bis g''': im Ganzen hat die Orgel also 86 klingende Stimmen und 5246 Pfeifen, außerdem aber noch 12 Nebenregister und 22 Pedale zur Koppelung und zu anderen Nebenzwecken.

Noch wollen wir in aller Kürze die einfacheren Pfeifenwerke erwähnen, welche ähnlich wie die Spieldosen durch Umdrehung einer Walze zum Tönen gebracht werden und welche unter dem Namen der Dreh-

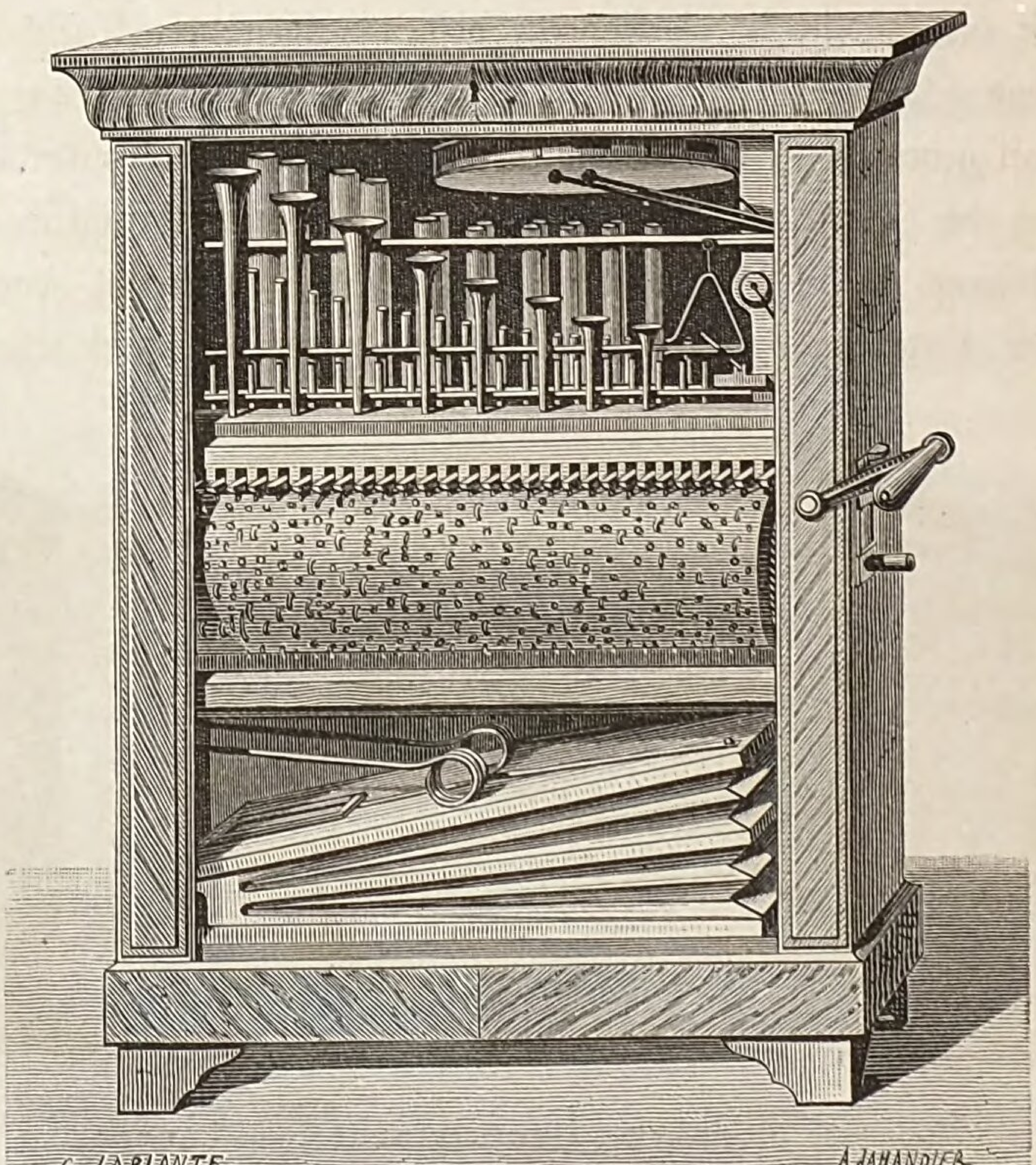


Fig. 134. Orchestrion.

orgeln oder Leierkasten allgemein bekannt sind; wenn diese Spielwerke dagegen in größerem Maßstabe ausgeführt sind, sodaß man sie nicht auf den Schultern weiter tragen kann, so giebt man ihnen viel hochtönendere Namen, wie Orchestrion, Accordion u. s. w. (Fig. 134). Als Erfinder dieser Instrumente wird der Orgelbauer Barberi in Modena genannt, um ihre Vervollkommnung dagegen hat sich Kaufmann

in Dresden große Verdienste erworben. Die Werke enthalten eine Anzahl Pfeifen, die auf einer gemeinsamen Windlade stehen und durch Klappen abgeschlossen sind, welche durch Hebel oder Tasten geöffnet werden können; das Niederdrücken der Tasten aber geschieht durch Zähne von größerer oder geringerer Länge, welche auf einer Walze aufsitzen und je nach ihrer Länge die Taste eine längere oder kürzere Zeit herabdrücken und dadurch den Ton erklingen lassen. Das Umdrehen der Walze wird entweder durch eine Kurbel oder auch durch ein Uhrwerk bewirkt, und dabei wird gleichzeitig der Blasebalg, der die Pfeifen mit Luft versorgt, in Bewegung gesetzt. Rückt man die Walze durch einen Hebel etwas seitwärts, so wird eine andere Reihe von Zähnen den Tasten gegenüber gestellt, sodaß nun ein anderes Musikstück erklingt. Man hat Werke erbaut, welche mehrere Ouverturen, Fantasieen und andere größere Musikstücke mit großer Reinheit spielen: in noch höherem Ansehen scheinen diese Instrumente im vorigen Jahrhundert gestanden zu haben, wie man daraus ersieht, daß sogar Mozart zwei Musikstücke von hohem Werthe für ein solches Werk eigens componirt hat: es sind dies die beiden Fantasieen in F-moll, welche als vierhändige Clavierstücke sehr bekannt sind.

Drittes Buch.

Das Licht.

Erstes Kapitel.

Spiegel und andere Reflectoren.

§ 1. Metallspiegel und Glasspiegel.

Der Gebrauch der Spiegel ist sehr alt: denn wir finden dieselben nicht allein in den ältesten Schriften der Aegypter und Israeliten erwähnt, sondern in den Gräbern der Pyramiden hat man auch Ueberreste altägyptischer Spiegel (Fig. 135) angetroffen. Das Material, aus dem diese Werkzeuge angefertigt wurden, war in den ältesten Zeiten meistens poliertes Metall, als Stahl, Silber oder Gold: doch auch manche Gesteinsarten, wie Obsidian und Glimmer, scheinen zu demselben Zwecke zubereitet worden zu sein. Bei den Griechen und Römern waren die Spiegel schon ganz allgemein verbreitet und in den Häusern der Vornehmen waren die Wände der Gemächer vielfach mit ihnen geschmückt: ja aus einzelnen Stellen bei Aristoteles und Plinius hat man sogar schließen wollen, daß auch Glasspiegel, welche mit einem polierten Metallplättchen belegt waren, den Alten nicht unbekannt geblieben sind. Doch erst in viel späteren Zeiten kamen die Glasspiegel in allgemeinen Gebrauch und erst vom 15. Jahrhundert an haben sie die Metallspiegel immer mehr verdrängt: um diese Zeit war es vorzüglich die Stadt Venedig, welche sehr kostbare Glasspiegel (Fig. 136) lieferte. Wie sehr man dieselben früher schätzte, sehen wir an einem kleinen, im sogenannten Grünen Gewölbe zu Dresden aufbewahrten Glasspiegel, der nach unseren

Begriffen gar nicht besonders gut ist, der aber von einem breiten, mit vielen Edelsteinen besetzten Goldrahmen umschlossen wird. Jetzt ist der Preis der Glasspiegel sehr gesunken, sodaß dieselben allgemeine Verbreitung theils als Toilettegegenstände, theils als Schmuck der Zimmer und Gebäude gefunden haben; und bei aller ihrer großen Zerbrechlichkeit giebt man ihnen doch im Allgemeinen vor den Metallspiegeln den Vorzug,

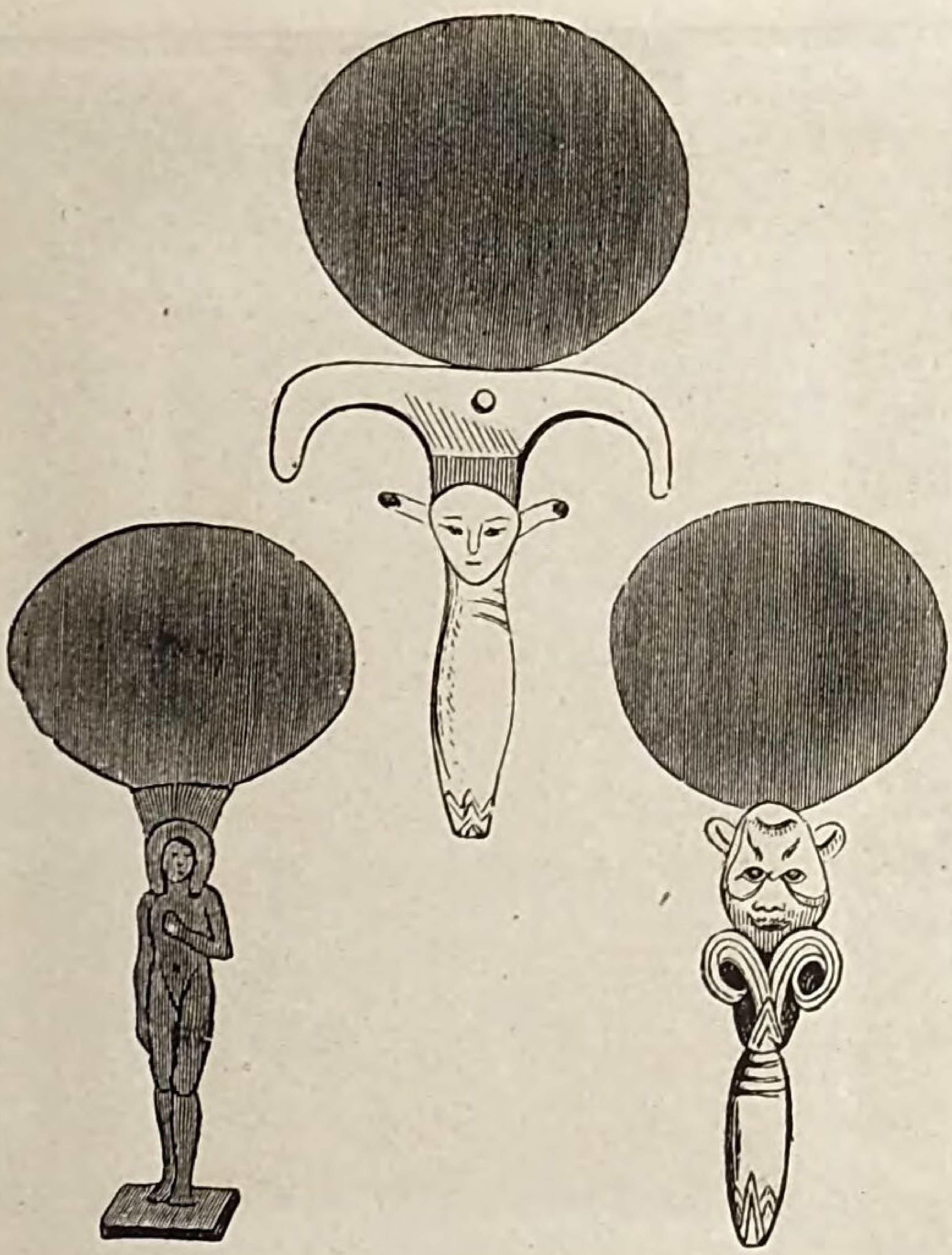


Fig. 135. Altägyptischer Spiegel.

weil letztere leicht oxydiren oder wenigstens anlaufen, und dadurch eine mühsame und kostspielige Pflege erfordern, während sich die Glasspiegel Jahre lang unverändert erhalten, wenn sie nicht gerade an einer feuchten Wand hängen.

Seit einigen Jahrzehnten liefern die Spiegelfabriken Gläser von ungeheurer Ausdehnung und von einer Vollendung der Politur, welche die Schönheit der durchsichtigen Masse selbst erst zur Wirkung kommen läßt. Je weißer, oder richtiger gesagt, je farbloser diese Masse ist, desto besser eignet sie sich für die Spiegel, weil unter dieser Bedingung die Lichtstrahlen, welche die Dicke der Tafel zweimal durchwandern müssen, bevor sie nach ihrer Reflexion von der glatten Oberfläche des Beleges

in das Auge dringen, weder in ihrer Färbung geändert werden, noch in ihrer Stärke eine bedeutende Einbuße erleiden. Die hauptsächlichste Spiegelung erfolgt zwar immer am metallischen Belege der Hinterfläche, ein Theil der Lichtstrahlen wird aber auch von der Vorderfläche des Glases zurückgeworfen, sodaß man bei genauem Hinsehen vor dem eigentlichen Spiegelbild der Gegenstände noch ein matteres Bild wahrnehmen

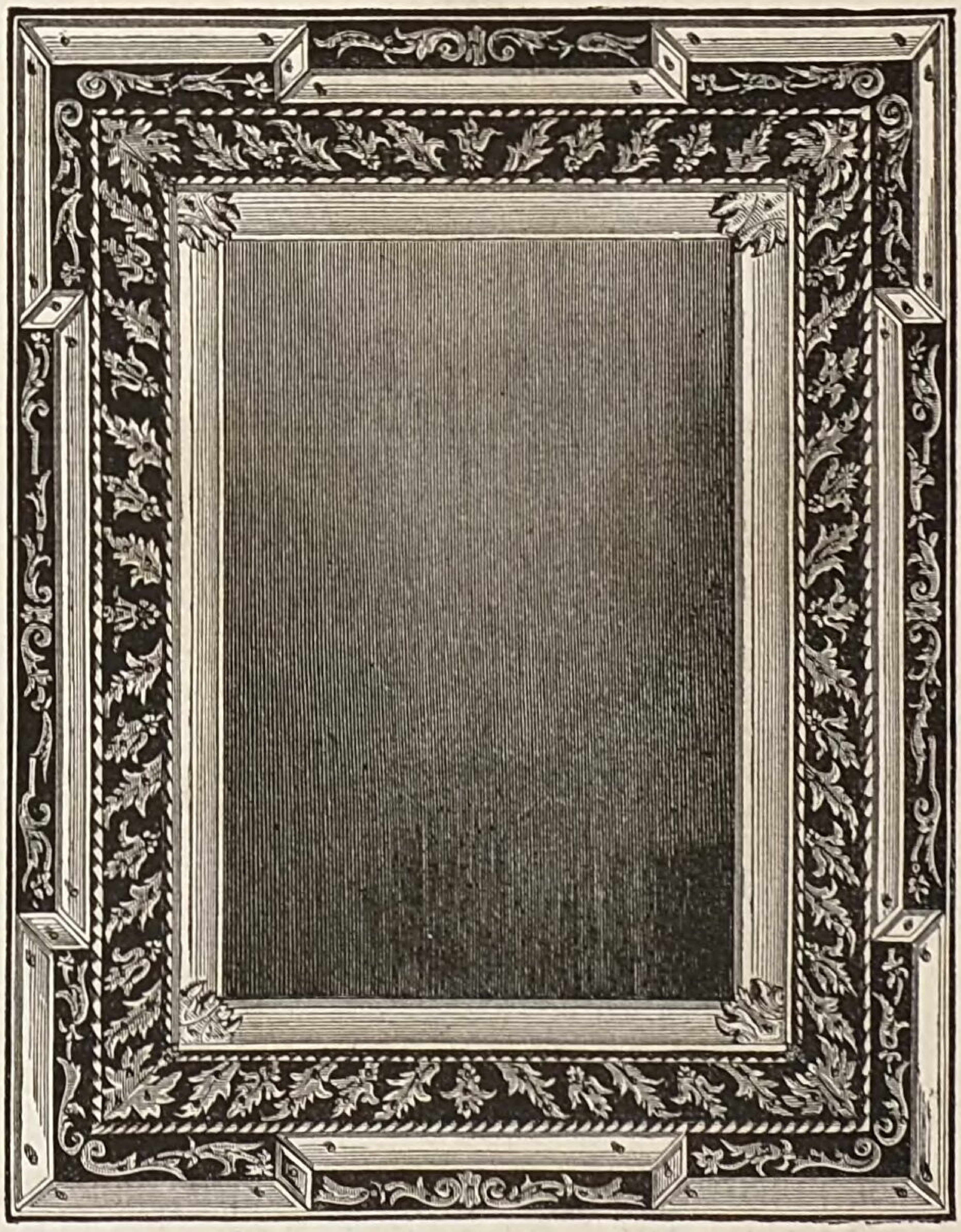


Fig. 136. Venezianischer Glasspiegel.

kann, besonders wenn man ziemlich schräg gegen die Spiegelfläche blickt; auch hinter dem Hauptbilde erscheinen gewöhnlich noch einige mehr oder weniger deutliche Bilder, die dadurch entstehen, daß die Lichtstrahlen erst einigemale zwischen den Grenzflächen des Glases hin- und hergehen, ehe sie aus der Vorderfläche wieder austreten, und aus diesem Grunde sind die Glasspiegel bei wissenschaftlichen Untersuchungen weniger gut anzuwenden.

Das Beleg der Glasspiegel, welches aus Zinnamalgam besteht,

wird auf folgende Weise am Spiegelglase befestigt. Man breitet ein gleichmäßig dickes Stück Stanniol, das an allen Seiten der Größe nach über die Glastafel hinausreicht, auf einem Tische aus, dessen Platte aus gut poliertem Steine besteht, gut in die Wage eingestellt ist und rings am Rande herum eine Furche trägt; die Oberfläche des Stanniols reibt man mit etwas Quecksilber ein, damit sie sich schon vorläufig ein

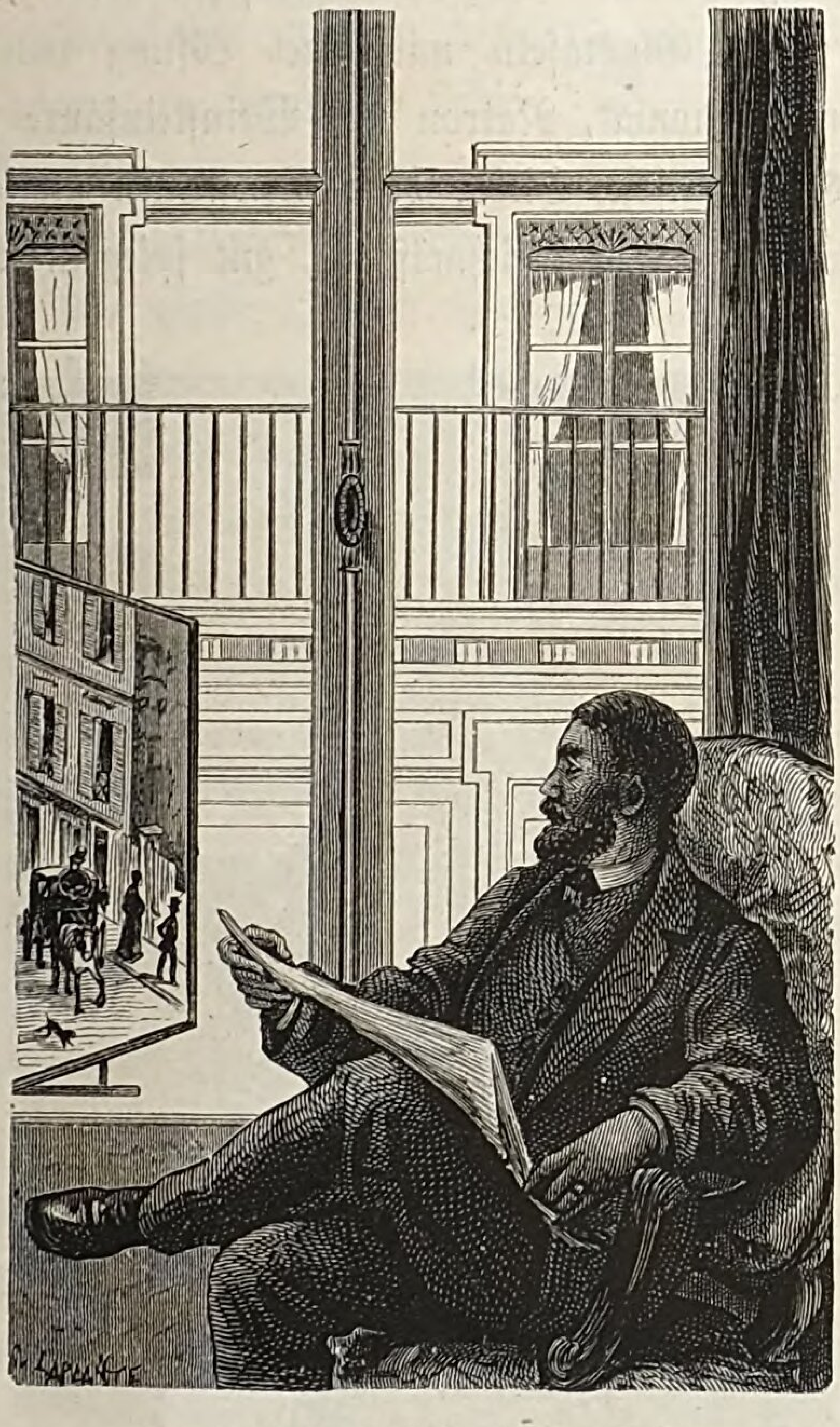


Fig. 137. Fensterspiegel oder Spion.

wenig amalgamiere, und bedeckt sie mit einer Schicht flüssigen Quecksilbers. Nun schiebt man die Glastafel, nachdem man ihre Oberfläche sorgfältig gereinigt hat, von der Seite her über das Stanniolblatt, wobei das überschüssige Quecksilber nach den Furchen des Tisches hin abfließt, bedeckt sie mit wollenen Tüchern und belastet sie durch Gewichte, durch welche bewirkt wird, daß sich das Quecksilber eng mit dem Zinn verbindet und daß sich dieses Amalgam fest an das Glas anhängt.

Die Arbeiter, welche das Belegen der Spiegel zu besorgen haben, sind bei ihrer Thätigkeit einer großen Gefahr ausgesetzt: von dem Quecksilber steigen nämlich beständig giftige Dämpfe auf, welche beim Athmen in Mund und Nase eindringen, selbst wenn diese Theile durch vorgebundene nasse Tücher geschützt werden, und eine allmähliche Vergiftung bewirken. Man hat deshalb Versuche angestellt, ob sich nicht das Amalgambeleg durch irgend einen anderen metallischen Ueberzug ersetzen ließe: so kann man z. B. Glastafeln mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, von Ammoniak, Natron und Weinsteinsäure übergießen, aus welcher sich das metallische Silber beim Erwärmen ausscheidet: dasselbe bildet auf dem Glase einen gleichmäßigen, gut spiegelnden Ueberzug, der

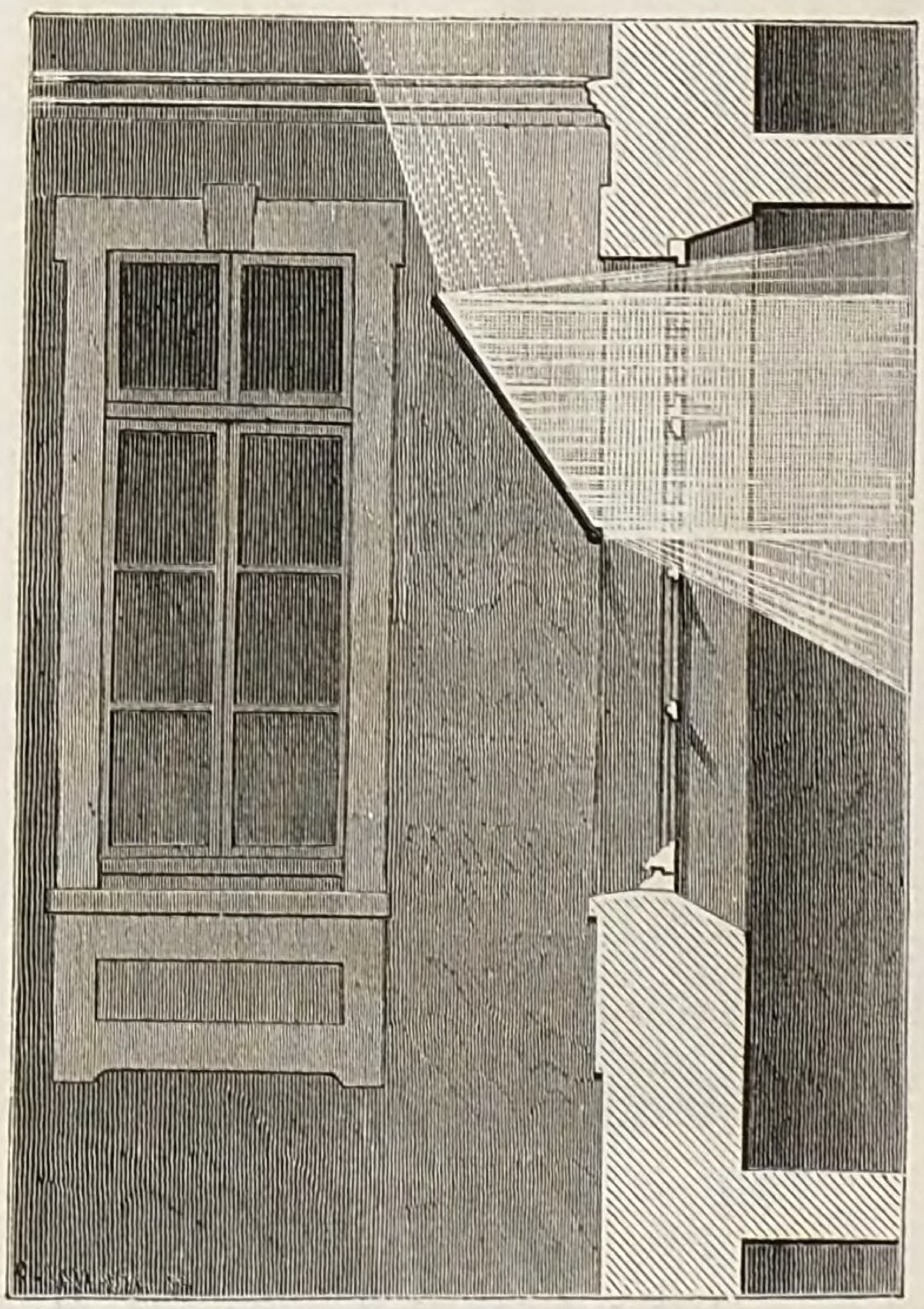


Fig. 138. Beleuchtungsspiegel.

den Bildern nur eine etwas gelbliche Färbung verleiht. Dieser letzte Umstand ist wohl, abgesehen von den etwas höheren Kosten, die Ursache, daß diese Spiegel nicht in weiteren Kreisen Eingang gefunden haben.

Abgesehen von dem gewöhnlichen Gebrauche im Hause finden die Spiegel noch mancherlei Anwendung im alltäglichen Leben: so befestigt

man sie außen am Fenster, entweder um von der Stube aus die Straße oder den Hof übersehen zu können (Fig. 137), oder auch um das Licht des Tages durch Fenster, welche sich in einer engen Straße oder einem schmalen Hofe befinden, in das Innere des Hauses einzuführen (Fig. 138).

Zu wissenschaftlichen Zwecken dagegen werden die Spiegel besonders bei mancherlei Messungen verwendet, wie wir in den nächsten Paragraphen sehen werden: jetzt wollen wir nur zeigen, wie man mit Hilfe eines kleinen Planspiegels die senkrechte Höhe der Gegenstände bestimmen kann. Will man die Höhe eines Hauses oder Baumes messen, so kann man dies dadurch ausführen, daß man in einiger Entfernung von dem Gegenstande einen kleinen Spiegel O (Fig. 139) auf den Boden so legt, daß seine Fläche horizontal ist; hierauf tritt man von dem Spiegel so weit zurück, bis man das Bild der Spitze des Gegenstandes gerade in ihm erblickt. Mißt man nun den Abstand, in dem man sich selbst einerseits, und den, in welchem sich andererseits der Gegenstand befindet, so hat man damit zugleich das Verhältniß, in dem die Höhe des Gegenstandes zu unserer eigenen Körperlänge steht.

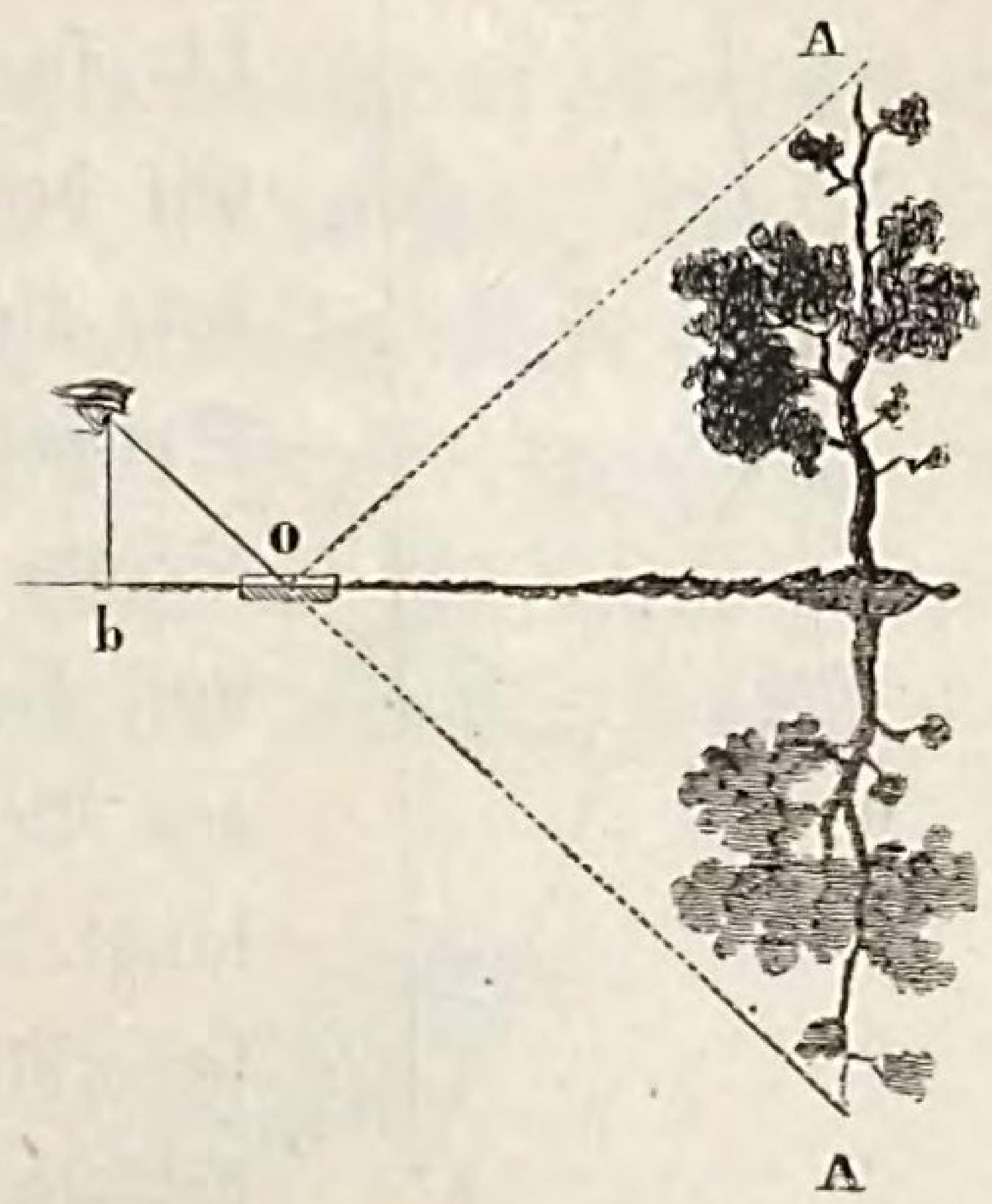


Fig. 139. Bestimmung der Höhe eines Gegenstandes mittels eines Spiegels.

§ 2. Der Spiegelsextant.

Indem wir uns jetzt zu den Anwendungen der Spiegel bei der Messung der Winkel wenden, wollen wir zuerst eines Instrumentes von der höchsten Wichtigkeit Erwähnung thun, ohne welches die astronomischen Bestimmungen auf dem Schiffe gar nicht ausführbar sein würden: wir meinen den Spiegelsextanten. Die Erfindung dieses Instrumentes ist nicht mit einem Male erfolgt, sondern sie wurde schon dadurch vorbereitet, daß verschiedene Physiker, wie Newton, Hooke, Godfrey und Harris Meßinstrumente anwendeten, die annähernd auf denselben Principien beruhten: als eigentlicher Erfinder aber ist Hadley zu bezeichnen, der zuerst im Jahre 1731 einen Spiegelsextanten praktisch ausführen ließ.

Die wesentlichsten Theile des genannten Instrumentes sind zwei

Spiegel M und N (Fig. 140), welche mit ihren spiegelnden Flächen einander zugekehrt sind, und von denen der eine N feststeht, während sich der andere M um eine Axe drehen läßt. Bei irgend einer Stellung des Spiegels M wird nun ein Lichtstrahl SI, der von einem fernen Punkte kommt, in der Richtung II' so zurückgeworfen, daß der Winkel i, den er mit der Spiegelfläche bildet, wieder dieselbe Größe hat, als der Winkel, unter welchem der Strahl den Spiegel traf. In gleicher Weise wird nun der Strahl vom Spiegel N zurückgeworfen, sodaß er nun die Richtung I'O annimmt und in das Auge des Beobachters, das sich in O befinden mag, gelangt. Wenn man also von O aus nach I' sieht, so erblickt man daselbst im Spiegel N das Bild des Punktes, der den Strahl ausgesendet hat, und der sich eigentlich in der Richtung OS vom Beobachter aus gesehen befindet; zugleich kann das Auge über dem Spiegel N aber auch irgend einen Gegenstand wahrnehmen, der wirklich in der Richtung OI' liegt. Hat man also das Instrument so eingestellt, daß das Auge O gleichzeitig über den Spiegel einen fernen Gegenstand, z. B. einen Stern, direct und im Spiegel das Bild eines anderen Gegenstandes in derselben Richtung OI' erblickt, so ist der Winkel SOI' derjenige Winkel, um den die Richtungen vom Auge nach den beiden Gegenständen von einander abweichen: dieser Winkel ist aber stets doppelt so groß, als der Winkel α, den die beiden Spiegel (in ihrer Verlängerung bei A) mit einander bilden*). Wenn man also eine Vorrichtung anbringt, durch welche sich der Winkel α messen läßt, so braucht man denselben nur zu verdoppeln um den Winkel zu wissen, welchen die Richtungen einschließen, in denen die fernen Gegenstände erscheinen: zu diesem Zwecke aber ist der Spiegel M an einem Lineale,

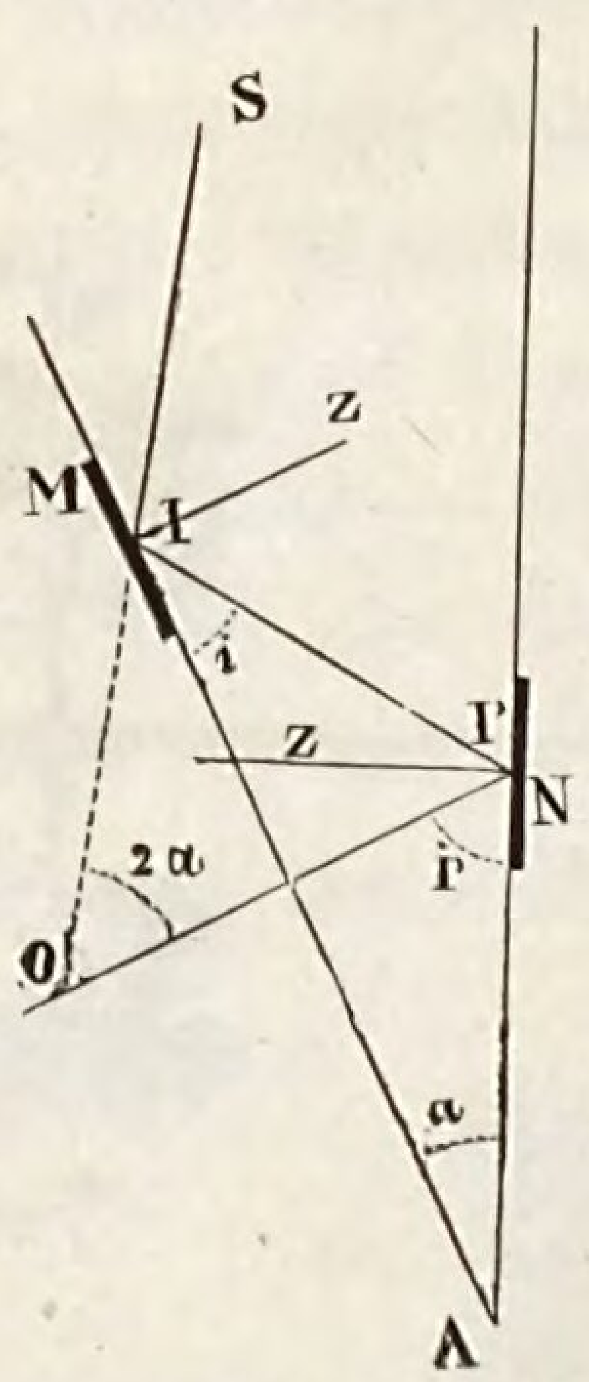


Fig. 140. Princip des Spiegelsextanten.

*) Für diejenigen unserer Leser, denen die Anfangsgründe der Geometrie nicht ganz fremd sind, wollen wir hier den ausführlichen Beweis für die im Texte ausgesprochene Behauptung hinzufügen: wir brauchen dazu nur den Satz, daß die Summe der drei Winkel eines Dreieckes 2 R beträgt. Nun ist im Dreieck OII' der Winkel bei I = 2 i, der bei I' aber, wie man leicht sieht, = 2 R — 2 i', mithin bleibt für den Winkel bei O noch 2 i' — 2 i. Im Dreieck AII' dagegen ist der Winkel bei I = i, der Winkel bei I' = 2 R — i', also der Winkel bei A = i' — i: mithin ist der Winkel bei O doppelt so groß, als der Winkel bei A.

einer sogenannten Alhidade, befestigt, deren Ende sich auf einem getheilten Kreisbogen verschieben läßt; weil man diesen Kreisbogen gewöhnlich blos bis 60° oder den sechsten Theil eines Kreises ausdehnt, bezeichnet man das Instrument als einen Sextanten.

Das vollständige Instrument sehen wir in Fig. **141** abgebildet und wir erblicken dort zunächst den Theilkreis, welcher an einem festen Gestell, das aus einer starken Messingplatte geschnitten ist, festsitzt. Bei M, wo sich der Mittelpunkt des Theilkreises befindet, ist in die Platte ein kreisförmiges Loch eingeschnitten, in welchem sich der Zapfen dreht, der die Alhidade trägt; diese letztere endigt am Theilkreise in einem sogenannten Nonius V, einer Vorrichtung, welche eine genauere Ablesung der Winkel

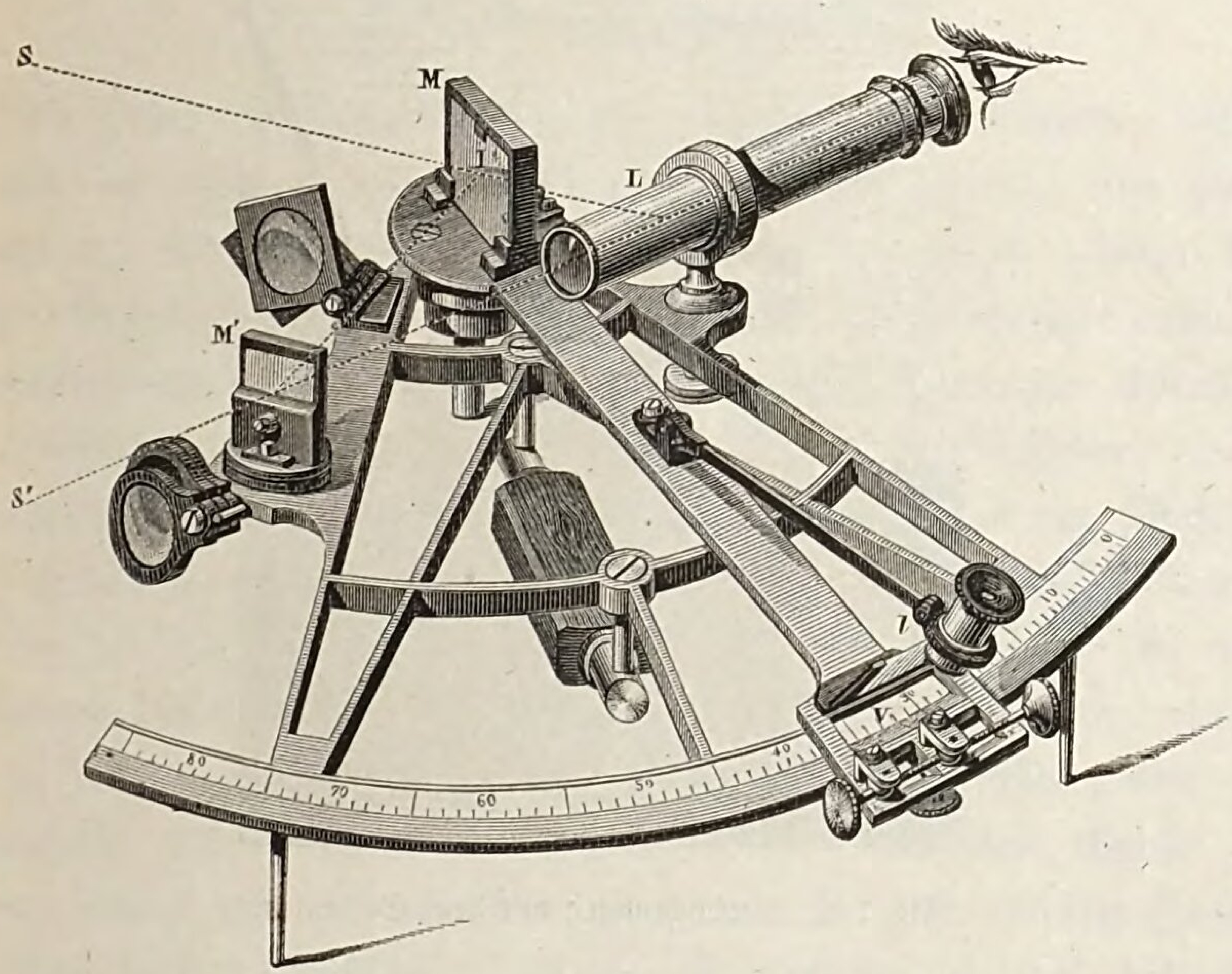


Fig. 141. Spiegelsextant.

gestattet; zugleich ist dort eine Loupe l angebracht, durch welche man die Ablesung bewirkt. Die Alhidade trägt bei M einen kleinen Spiegel J, dessen Fläche rechtwinkelig zur Alhidade steht und so gerichtet ist, daß sie zur Fläche eines zweiten Spiegels M', der fest auf dem Gestell sitzt, parallel ist, sobald die Alhidade auf den Nullpunkt der Kreistheilung eingestellt ist. Auf diesen Spiegel M', welcher in seiner oberen Hälfte keinen Beleg trägt, ist ein Fernrohr L so gerichtet, daß in das Gesichtsfeld desselben zur Hälfte der belegte, zur anderen Hälfte aber der durch-

sichtige Theil des Spiegels M' fällt. Wenn man durch dieses Fernrohr im oberen Theile von M' irgend einen Gegenstand erblickt und zugleich im unteren Theile das Bild eines zweiten Gegenstandes sieht, welches durch doppelte Spiegelung entstanden ist, und wenn man dann weiter an der Kreistheilung den Winkel abliest, so findet man sofort durch Verdoppelung desselben den Winkel, den die Richtungen LS und LS' nach beiden Gegenständen mit einander einschließen.

Will man mit dem Sextanten Beobachtungen ausführen, will man z. B. den Winkelabstand zwischen zwei Sternen messen, so faßt man das Instrument an einem Handgriffe, der sich unterhalb des Gestelles



Fig. 142. Beobachtungen mit dem Sextanten.

befindet, mit einer Hand und richtet das Fernrohr so, daß man den einen Stern durch den oberen durchsichtigen Theil des Spiegels M' direct erblickt (Fig. 142). Hierauf neigt man die Platte, ohne jedoch die Richtung des Fernrohres zu verändern, so lange, bis der zweite Stern in die Ebene des Theilkreises fällt, und dreht nun die Alhidade weiter, bis man durch das Fernrohr auch das Bild des zweiten Sternes im Spiegel erblickt. Will man den Abstand eines Sternes vom Rande des Mondes bestimmen, eine Messung, welche für die Seefahrer sehr wichtig ist, weil durch sie die geographische Länge, in der sich das Schiff

befindet, ermittelt werden kann, so visiert man nach dem Sterne, und führt durch Drehung des Spiegels das Bild des Mondrandes bis an den Stern heran: so sieht man auch immer direct nach der Sonne, wenn man den Abstand zwischen Sonne und Mond messen will, nur muß man dann geschwärzte Gläser anwenden, um nicht von den Strahlen der Sonne geblendet zu werden. Will man endlich die Höhe eines Sternes über dem Horizonte finden, so bringt man die Ebene des Theilkreises in eine senkrechte Stellung und visiert mit dem Fernrohre nach der Grenzlinie des Horizontes, die sich auf dem Meere bei klarem Wetter mit ziemlicher Schärfe erkennen läßt.

§ 3. Das Goniometer.

Wir finden im Mineralreiche, wie auch unter den Körpern, welche künstlich im Laboratorium der Chemiker hergestellt werden, eine große Anzahl von Körpern, welche eine regelmäßige, von ebenen Flächen begrenzte Gestalt besitzen: wer kennte z. B. nicht die sechsseitigen Säulen der Quarzkrystalle, die Granaten, die regelmäßig begrenzten Körnchen des Kochsalzes u. a. m.? Um nun das Wesen dieser Gestalten, welche man Krystallformen nennt, genau zu erforschen, ist es von Wichtigkeit, die Winkel zu messen, unter denen die Flächen an einander stoßen: denn es hat sich gezeigt, daß bei einem und demselben Stoffe die entsprechenden Flächen immer dieselben Winkel miteinander bilden, gleichviel ob sich der Krystall fertig gebildet im Gesteine vorfindet, oder ob er künstlich aus Lösungen ausgeschieden wird. Um diese Winkel zu messen, bedient man sich gewisser Instrumente, die man mit dem Namen der Goniometer bezeichnet. In der Construction ist zwar das einfachste, aber auch das am wenigsten genaue, das sogenannte Contactgoniometer, welches aus zwei Schenkeln besteht, die an die Flächen des Krystalles angelegt werden und durch ihre Stellung die Größe des Winkels angeben. Allein da sich dieses Instrument nur bei großen Krystallen anwenden läßt und auch selbst dann nur sehr unvollkommene Messungen gestattet, so bedient man sich zu genaueren Untersuchungen stets der Reflexionsgoniometer, bei welchen man Lichtstrahlen von der Oberfläche der Krystalle selbst zurückwerfen läßt; denn in den meisten Fällen sind diese Flächen glatt genug, um die Lichtstrahlen hinreichend

scharf zu reflectieren. Sollte dieses letztere nicht der Fall sein, so befestigt man auf den Flächen kleine und sehr dünne Glimmerblättchen. Die Construction der Goniometer kann auf verschiedene Weise ausgeführt sein, wir wollen uns aber auf die beiden wichtigsten beschränken, nämlich auf die von Wollaston und von Babinet erfundenen, da alle übrigen auf denselben Principien beruhen.

Das Reflexionsgoniometer von Wollaston (Fig. 143) besteht aus einem aufrechtstehenden Theilkreise D, dessen Rand in Grade getheilt ist und der an einer horizontalen Axe festsitzt, welche mittels eines

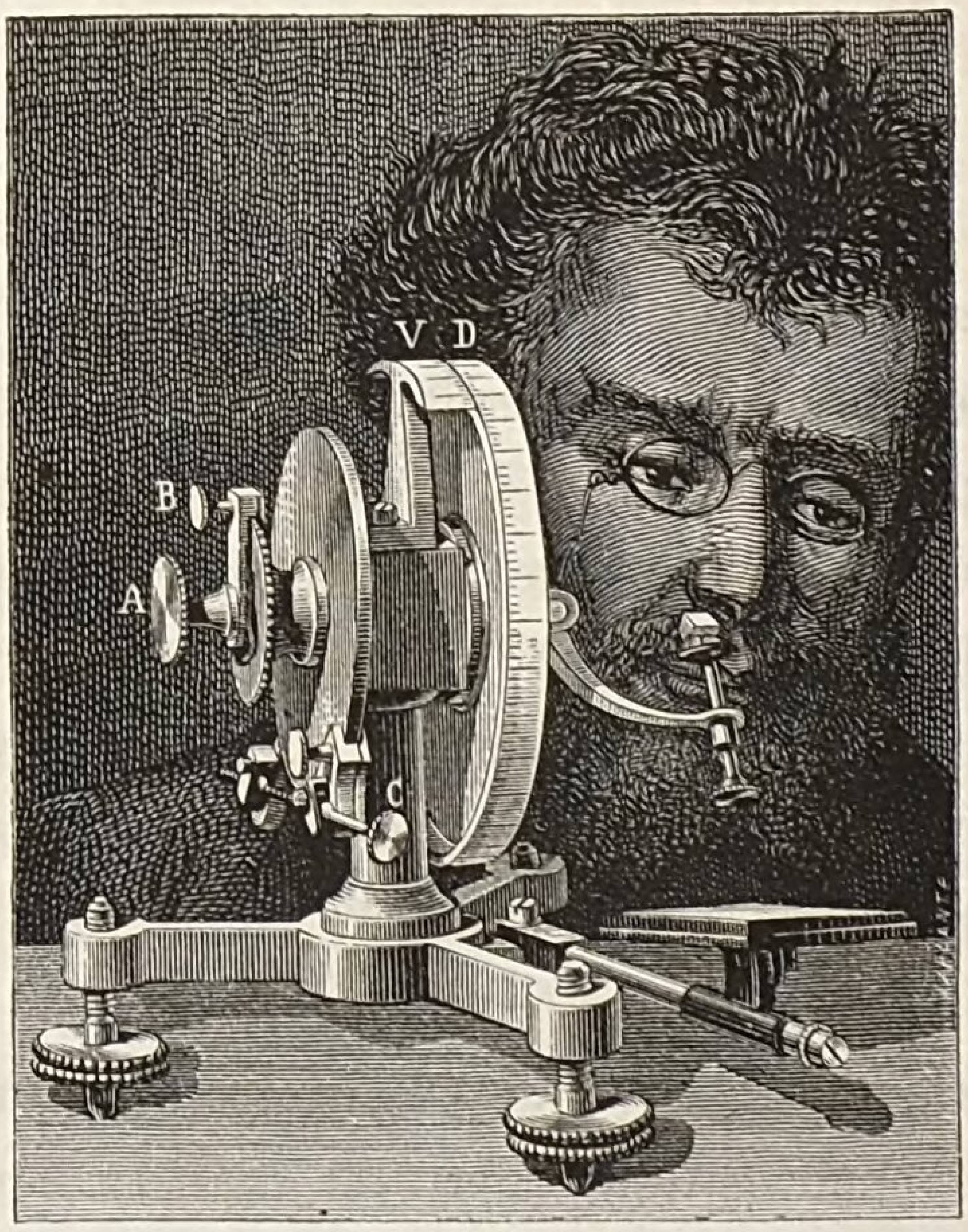


Fig. 143. Reflexionsgoniometer von Wollaston.

Knopfes G gedreht werden kann. Bei dieser Drehung bewegt sich der Rand des Kreises längs eines anderen Bogens V, welcher am Stativ des Instrumentes festsitzt. Auch auf diesem Bogen ist eine Theilung angebracht, deren Theilstriche aber entweder etwas enger oder etwas weiter von einander abstehen, als die Striche des Kreises, sodaß entweder 11 oder 9 Theile des Bogens V denselben Raum einnehmen, wie 10 Theile des Kreises. Durch diesen Apparat, welchen man mit dem Namen eines Nonius oder Vernier bezeichnet, ist es möglich, auch noch die Zehntel der Grade mit Sicherheit zu bestimmen.

Die Axe ist der ganzen Länge nach durchbohrt und durch sie ist ein

Stab hindurch gesteckt, welchen man mittels eines Knopfes A unabhängig vom Theilkreis drehen kann, welcher aber durch die Reibung mit fortgerissen wird, sobald man den Theilkreis weiter dreht. Am Ende dieses Stabes befindet sich ein gegliedertes Stück, das aus mehreren Armen zusammengesetzt ist, welche man verschieden gegen einander einstellen kann, schließlich befindet sich am letzten Arme eine Metallplatte, an welcher man den Krystall mittels etwas Wachs befestigt.

Für die Beobachtung wählt man zwei horizontale parallele Linien aus, von denen die eine ziemlich hoch, die andere ziemlich tief liegt, wie z. B. den Dachfirst eines benachbarten Hauses und eine Kante am unteren Theile desselben Hauses, oder auch die obere Kante einer Querleiste des Fensterkreuzes und eine Linie, welche man auf einem Blatte Papier gezogen hat, das auf dem Beobachtungstische befestigt ist. Man stellt nun den Apparat, an dem man den Krystall bereits befestigt hat, so auf, daß die Ebene des Theilkreises sowohl gegen die Richtung der gewählten Marken, als auch gegen die horizontale Ebene rechtwinklig ist; die letztere Einstellung wird mit Hilfe einer Wasserwage ausgeführt. Nunmehr stellt man mit Hilfe der beweglichen Arme den Krystall so ein, daß sowohl, wenn sich die eine, als auch wenn sich die andere der beiden Flächen auf der oberen Seite befindet, das Spiegelbild der als obere Marke gewählten Linie mit der unteren Marke zusammenfällt.

Nachdem diese Vorbereitungen, welche immer ziemliche Mühe kosten, getroffen sind, stellt man den Theilkreis so ein, daß sein Nullpunkt mit dem Nullpunkt des Nonius zusammenfällt; hierauf dreht man den Stab, welcher durch die Axe hindurch geht, ohne daß sich der Theilkreis mitbewegt, mittels des Knopfes A so lange, bis das Bild der oberen Marke, das in der einen Krystallfläche entsteht, mit der unteren Marke zusammenfällt. Nun dreht man endlich den Theilkreis, bis die zweite Krystallfläche in die Lage der ersten gekommen ist, sodaß sie das Bild der Marke an derselben Stelle wie zuvor erscheinen läßt, und liest am Theilkreise ab, um wie viele Grade man ihn weiter gedreht hat. Die gefundene Zahl muß man aber noch von 180° abziehen, wie aus Fig. 144 leicht zu erkennen ist: denn wenn die beiden schraffirten Theile den Krystall

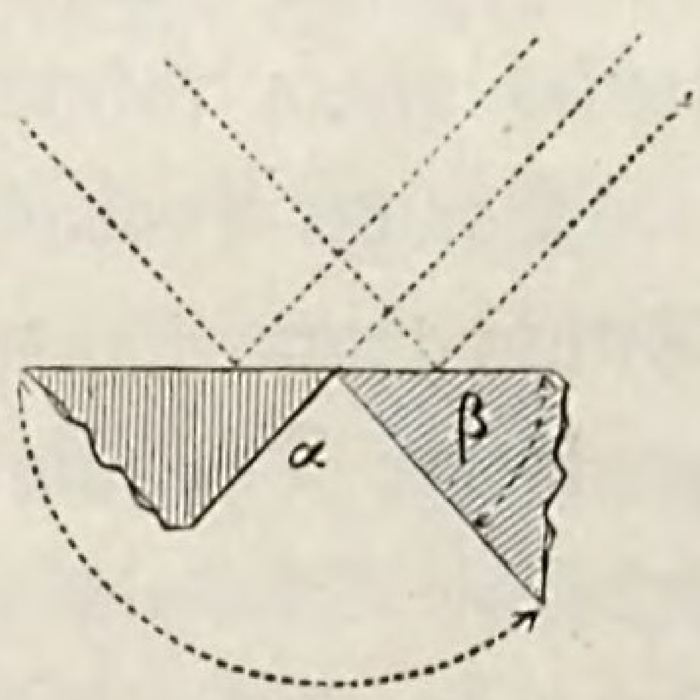


Fig. 144. Nachweis der Bestimmung des Krystallwinkels.

in seinen beiden Stellungen darstellen, so sieht man leicht, daß der Winkel α, um den man ihn drehen muß, wenn man ihn aus einer Lage in die andere bringen will, den Krystallwinkel β zu 180^0 ergänzt.

Das Goniometer von Babinet (Fig. 145) besteht aus einem horizontal aufgestellten Theilkreise, an welchem ein Fernrohr in der Richtung eines Radius in unveränderlicher Stellung befestigt ist, das in seinem Brennpunkte ein Fadenkreuz trägt: dieses Fadenkreuz soll als feste Marke dienen, nach welcher bei den Beobachtungen visiert werden soll; damit ist also eine feste Richtungs- oder Collimationslinie gegeben, weshalb man dieses Fernrohr den Collimator nennt. Weiter befindet sich auf dem Theilkreise ein zweites Fernrohr, das am Rande durch eine Klemmschraube festgehalten wird, das aber ebenfalls bei jeder Stellung in die Richtung eines Radius fällt; auch im Innern dieses Rohres befindet sich ein Fadenkreuz. Endlich ist in die Mitte des Theilkreises eine Axe eingesetzt, welche eine Alhidade trägt, an deren Ende ein Nonius die Ablesung der Winkel am Theilkreise vermittelt: und in dieser Axe steckt noch ein runder Zapfen, der unabhängig von der Axe gedreht werden kann, der sich aber auch mit dreht, wenn die Alhidade weiter bewegt wird. Auf diesem Zapfen befestigt man den Krystall, indem man besonders darauf achtet, daß die Durchschnittslinie der beiden Krystallflächen, deren Winkel man bestimmen will, gegen die Ebene des Theilkreises genau rechtwinkelig ist.

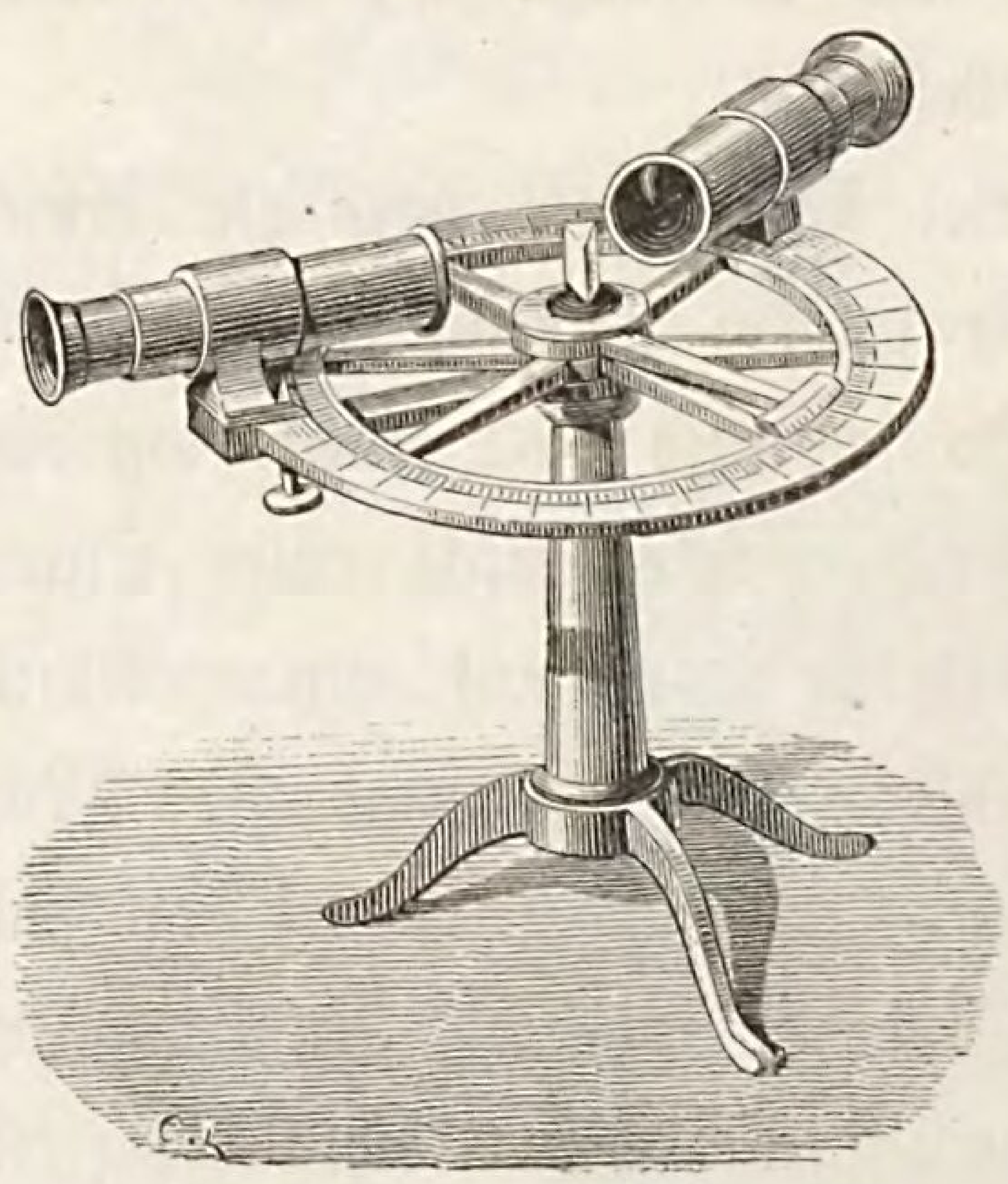


Fig. 145. Reflexionsgoniometer von Babinet.

Vor der Beobachtung giebt man dem beweglichen Fernrohre eine beliebige Stellung am Rande des Theilkreises, rückt die Alhidade auf den Nullpunkt der Theilung und dreht den Zapfen, der den Krystall trägt, ohne dabei die Alhidade zu verschieben, so lange, bis man durch das zweite Fernrohr das Spiegelbild des Fadenkreuzes im Collimator mit dem eigenen Fadenkreuz zusammen fallen sieht. Nun dreht man die Alhidade weiter, bis die zweite Krystallfläche in dieselbe Lage kommt, in der sich zuvor die erste befand, und liest den Winkel der Drehung ab; auch bei

diesem Instrumente muß man den abgelesenen Winkel von 180° abziehen, um die Größe des Krystallwinkels zu erhalten. Das in Fig. 145 dargestellte Instrument ist ein größeres, das von einem festen Fuße getragen wird: man fertigt aber auch kleinere Goniometer, die auf dieselbe Weise eingerichtet sind, nur daß sie statt des Fußes einen Handgriff besitzen, an dem sie während der Beobachtung gehalten werden.

§ 4. Heliotrop, Heliostat und Siderostat.

Bei größeren Landesvermessungen kommt es oft vor, daß ein Beobachter an einer bestimmten Station einem anderen, der sich zuweilen in einer Entfernung von mehreren Meilen befindet, Zeichen geben will und daß er dazu die Strahlen der Sonne benutzt, die er mittels eines Spiegels in der Richtung nach dem fernen Beobachter hinwerfen läßt. Um nun immer in aller Genauigkeit den Spiegel so einstellen zu können, daß die Strahlen gerade nach dem fernen Punkte hin geworfen werden, bedient man sich eines Instrumentes, das ebenso einfach als sinnreich ist, des Heliotropen, der vom größten Mathematiker der Neuzeit, von Gauß erfunden worden ist. Den Haupttheil des Heliotropen bilden zwei sich rechtwinklig durchkreuzende Spiegel ab und cd (Fig. 146), welche mit ihren spiegelnden Flächen den Sonnenstrahlen ausgesetzt werden. Fällt nun ein Strahl so so auf beide Spiegel, daß er in einer Ebene verläuft, die auf beiden Spiegeln rechtwinklig steht, so wird er vom Spiegel ab in der Richtung oz, von cd in der Richtung oR zurückgeworfen: diese beiden Richtungen sind aber gerade einander entgegengesetzt, weil der Winkel, den die Spiegel mit einander bilden, ein rechter ist. Wenn man also ein Fernrohr FR nach dem fernen Punkte z richtet und vor diesem Rohre die Spiegel so befestigt, daß der vom kleineren reflectierte Strahl die Axe des Fernrohres durchläuft, so wird der andere Spiegel das Licht gerade in der Richtung oz reflectieren (Fig. 147). Bei der Einstellung muß man zunächst dafür sorgen, daß die Strahlen der Sonne die beiden Spiegel in einer Ebene treffen, die auf beiden senkrecht steht: dies bewirkt man, indem man den ganzen Rahmen, der die Spiegel

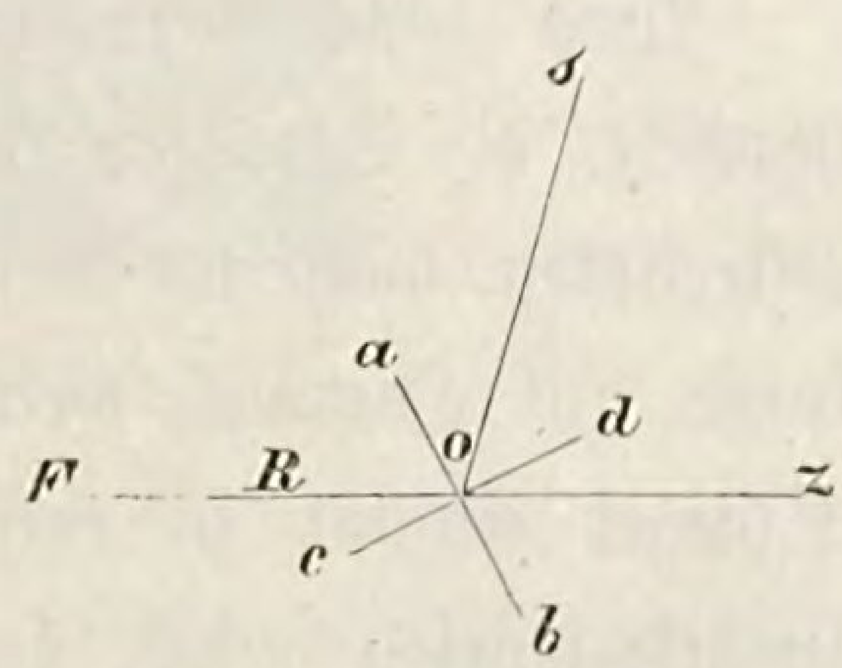


Fig. 146. Reflexion durch rechtwinklige Spiegel.

trägt, um die Axe des Fernrohres so lange dreht, bis ein Knopf, mittels dessen die Spiegel um ihre gemeinsame Durchschnittslinie gedreht werden können, der aber in Fig. 147 weggelassen ist, auf ein darunter gehaltenes Blatt Papier einen möglichst schmalen Schatten wirft; und hierauf dreht man den Knopf so lange, bis das Licht, das vom kleineren Spiegel reflectiert wird, das Fernrohr durchläuft.

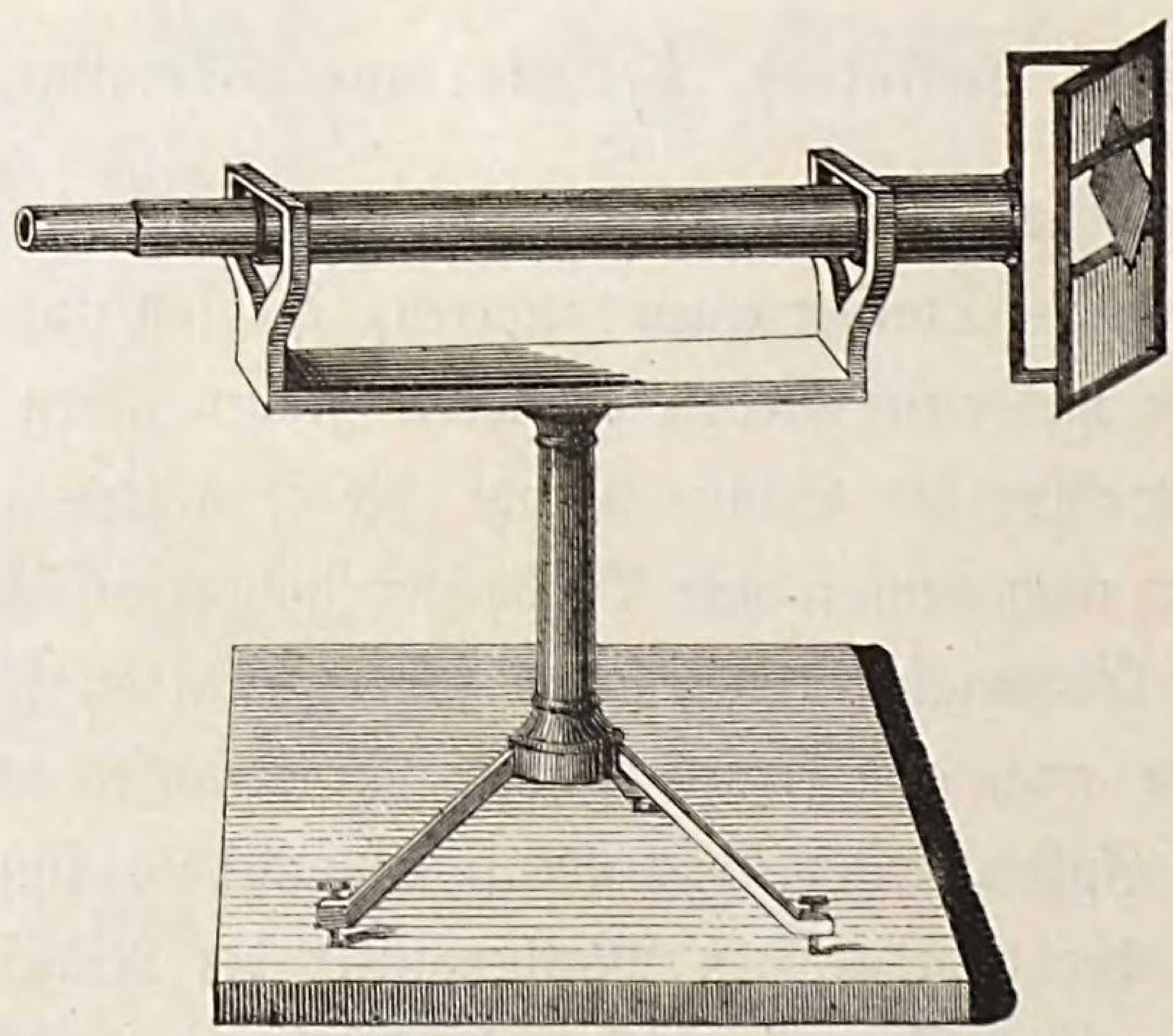


Fig. 147. Heliotrop von Gauß.

Weit schwieriger gestaltet sich die Aufgabe, wenn es sich darum handelt, die Strahlen der Sonne immer nach derselben Richtung hin zu reflectieren, während die Sonne selbst in ihrem scheinbaren täglichen Umlaufe am Himmel weiter rückt: es genügt dann nicht, daß man den Spiegel einmal so einstellt, daß das Licht in der gegebenen Richtung zurückgeworfen wird, sondern derselbe muß durch ein Uhrwerk in eine gleichmäßige Umdrehung versetzt werden und zugleich auch muß sich seine Neigung dem Laufe der Sonne entsprechend regulieren. Die Instrumente, durch welche dies bewirkt wird, nennt man Heliostaten: wir wenden uns jetzt zur Besprechung derselben, müssen aber zuvor einige Bemerkungen über den täglichen Lauf der Sonne und die damit zusammenhängende Veränderung in der Richtung der Sonnenstrahlen vorausschicken.

Die scheinbare tägliche Bewegung des ganzen Himmelsgewölbes besteht in einer Drehung um eine Axe, deren Endpunkte mit dem Namen der Pole bezeichnet werden: infolge dessen beschreibt jeder einzelne Himmelskörper, mithin auch die Sonne, einen Kreis, dessen Mittelpunkt in die

Axe fällt. Ist die Sonne von beiden Polen gleich weit entfernt, wie es am 21. März und am 23. September der Fall ist, so beschreibt sie den Aequator, einen Kreis, dessen Mittelpunkt mit dem Standpunkte des Beobachters zusammen fällt; zu jeder anderen Zeit aber bewegt sie sich parallel mit dem Aequator in einem Abstande von ihm, den man als die Declination bezeichnet, und der sowohl nach Norden, als nach Süden hin höchstens den Werth von $23^1|_2{}^0$ erreichen kann. Stellt die Linie PP' (Fig. 148) die Richtung der Himmelsaxe dar, die Linien OS

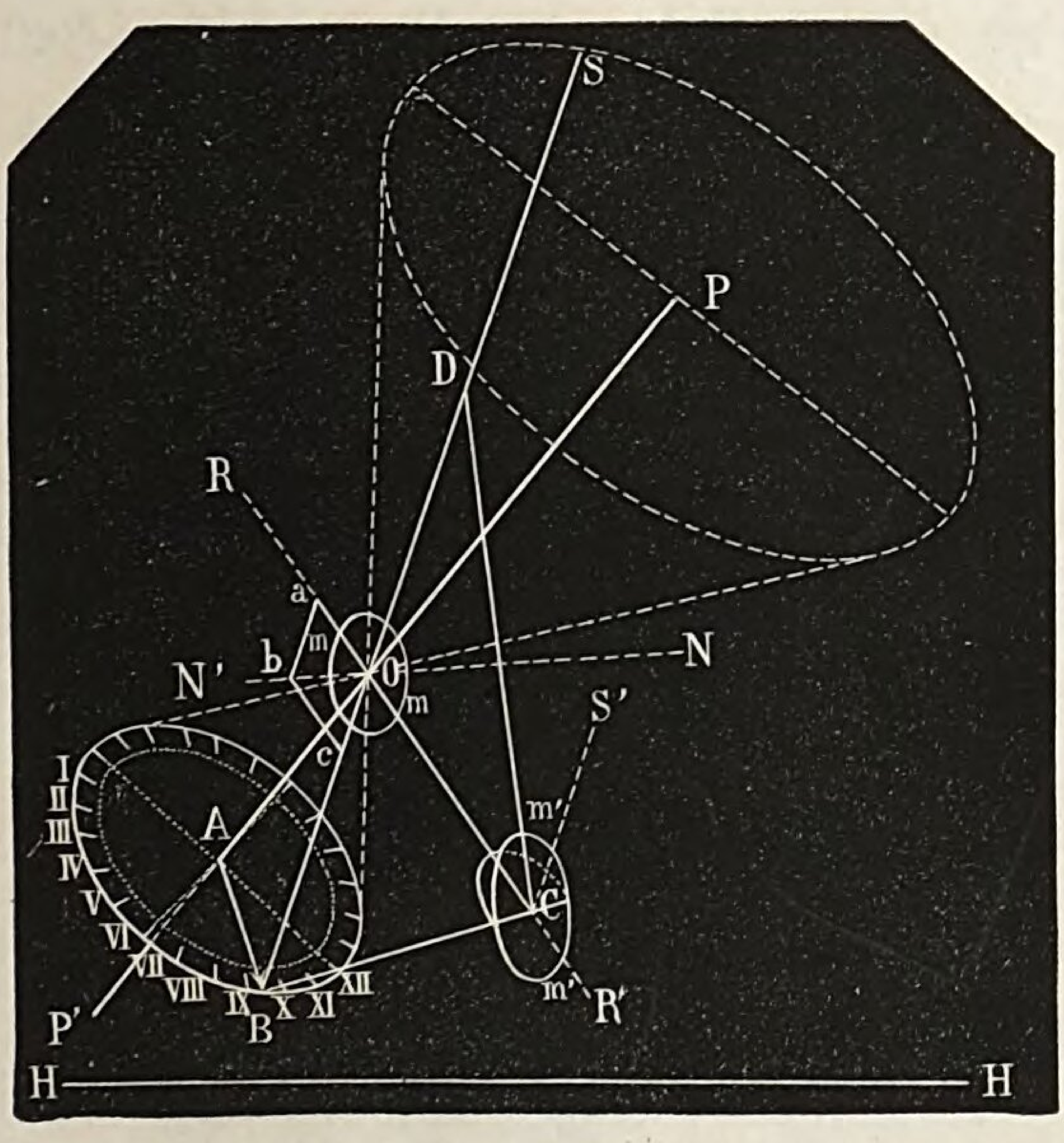


Fig. 148. Geometrischse Princip des Heliostaten.

aber die Richtung, in welcher sich die Sonne zu einer bestimmten Zeit befindet, in welcher also auch die Sonnenstrahlen zu uns gelangen, so wird auch die Linie OS, während sich die Sonne in ihrer Tagesbahn weiter bewegt, eine Kreisbewegung um die Axe PP' ausführen, ihre Verlängerung wird also auch beständig durch den Umfang eines Kreises gehen, dessen Mittelpunkt A in die Axe fällt. Ist nun in O ein Spiegel mm befestigt, der den Strahl OS in einer bestimmten Richtung OR' zurückwerfen soll, so muß derselbe so aufgestellt sein, daß die auf ihm senkrechte Linie NN' den Winkel zwischen OS und OR' halbiert. Stellt man nun ein Uhrwerk, an welchem der Kreis um A das Zifferblatt bildet, so auf, daß durch dasselbe ein fester Stab BO, der bei einer

Stellung in die Richtung des Sonnenstrahles fällt, um die Axe AB im Sinne des täglichen Umlaufes des Himmels binnen 24 Stunden einmal umgedreht wird, so wird derselbe immer in der Richtung der Sonnenstrahlen verbleiben.

Ist nun der bewegliche Stab BO in O durch ein Kugelgelenk mit einem festen Stabe RO verbunden, der in die Verlängerung der Linie OR′ fällt, längs deren die Strahlen reflectiert werden sollen, so ist bei O der Spiegel so zu befestigen, daß die auf ihm senkrechte Linie NN′ den Winkel ROB beständig halbiert. Dies wird aber dadurch erreicht, daß man an den Stäben OR und OB in gleichen Entfernungen Oa

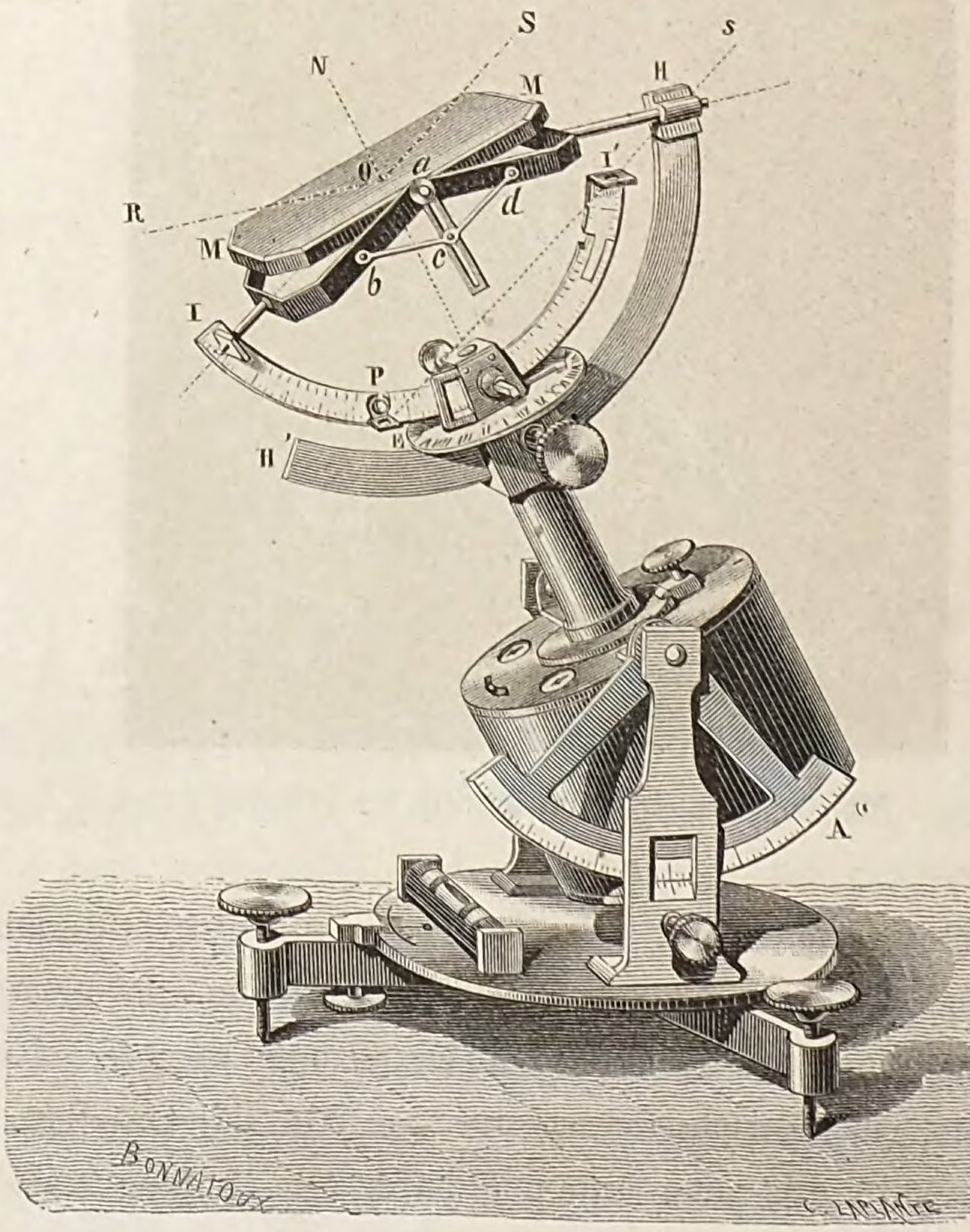


Fig. 149. Heliostat von Silbermann.

und Oc von O mittels Scharnieren zwei Stäbchen ab und cb befestigt, welche wieder dieselbe Länge wie Oa und Oc haben, sodaß das Viereck Oabc stets ein Rhombus ist, und welche in b ebenfalls durch ein Gelenk an einander stoßen. In b ist ein Knopf befestigt, welcher in

einer Führung geht, die auf der Ebene des Spiegels mm rechtwinklig ist, sodaß die Senkrechte auf dem Spiegel immer mit der Diagonale des Rhombus zusammenfällt und mithin den Winkel ROB halbiert.

Dies ist in allgemeinen Umrissen die Einrichtung, welche der Silbermann'sche Heliostat besitzt, der in Fig. 149 abgebildet ist: derselbe wird von einem Stativ getragen, dessen Bodenplatte mittels einer Libelle horizontal eingestellt wird; das Uhrwerk ist in eine Kapsel eingeschlossen, deren Axe in dieselbe Neigung gegen die Horizontalebene, welche die Weltaxe am Beobachtungsort hat, und durch eine Drehung der Bodenplatte in die Meridianebene eingestellt wird, sodaß sie immer nach dem Pole des Himmels zeigt. Auf der Kapsel befindet sich an einer Säule, die durch das Uhrwerk nicht mit gedreht wird, wohl aber mit der Hand umgedreht und nach Bedürfniß in eine bestimmte Stellung gebracht werden kann, in der sie durch eine Klemmschraube festgehalten wird, ein Kreisbogen HH', an dem bei H ein Stab befestigt ist, den man in die Richtung HR einstellt, in der das Licht reflectiert werden soll. Durch die Säule, welche der Länge nach durchbohrt ist, geht nun eine Axe, die durch das Uhrwerk in Umdrehung versetzt wird und einen Theilkreis II' trägt, der so eingestellt wird, daß ein bei I befestigter Stab in die Richtung der Sonnenstrahlen fällt. Wie die Stäbe H und I in Gabeln auslaufen, die im Scharniere a zusammenstoßen, und wie dort der Rhombus abcd angebracht ist, der die Stellung des Spiegels MM reguliert, ist aus der Abbildung deutlich zu ersehen.

Eine etwas abweichende Einrichtung finden wir beim Heliostaten von Foucault (Fig. 150), dessen Construction auf folgendem Principe beruht. Nimmt man auf der Linie SB (Fig. 148) die Entfernung OD so groß an, als OB und bringt man den Punkt C in dieselbe Entfernung von O, so wird aus geometrischen Gründen der Winkel BCD stets ein rechter sein, und umgekehrt, wenn man einen rechten Winkel BCD so legt, daß seine Schenkel CB und CD durch die Punkte B und D gehen, so wird C von O dieselbe Entfernung haben, wie B und D, und die Dreiecke DOC und COB werden immer gleichschenklig sein. Wenn man also einen Spiegel m'm' mit einem Stabe versieht, der auf seiner Fläche rechtwinklig ist und bei B durch eine Hülse gesteckt ist, während eine Führung, die in die Ebene des Spiegels fällt, immer durch D geht, so wird, wenn DB mit der Richtung des Sonnen-

strahles S′C parallel ist und bei der Umdrehung beständig parallel bleibt, das Licht in der Richtung CR′, d. i. in der Verlängerung von OC reflectiert. In Fig. 148 entspricht der Stab, der von dem Kreisbogen oberhalb des Uhrwerkes getragen wird, der Linie BD: derselbe muß also in die Richtung der Sonnenstrahlen gebracht und so eingestellt werden, daß sein Mittelpunkt in die Umdrehungsaxe des Uhrwerkes fällt; die Verlängerung der Verbindungslinie dieses Mittelpunktes mit dem Punkte der Spiegeloberfläche, an dem der senkrechte Stab CB angesetzt ist, giebt die Richtung, in der das Licht reflectiert wird.

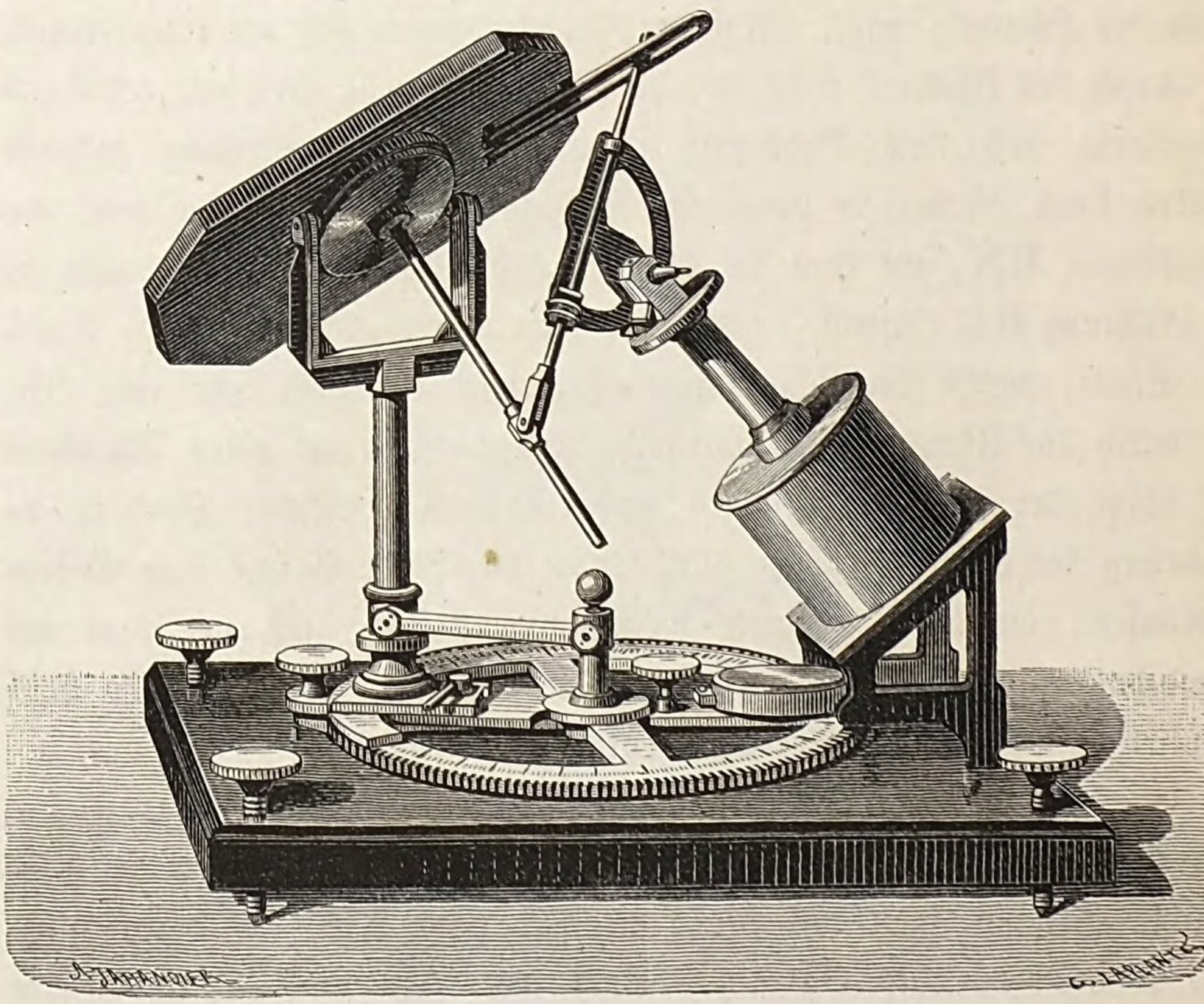


Fig. 150. Heliostat von Foucault.

Im Anschlusse an die Heliostaten wollen wir noch ein Instrument besprechen, das ähnlichen Zwecken dient, indem es einige Unbequemlichkeiten bei der Beobachtung der Gestirne beseitigt: wir meinen den Siderostaten, der von dem zuletztgenannten großen Physiker Foucault zwar ersonnen wurde, der aber erst nach seinem Tode construirt worden ist. Wenn man die verschiedenen Gestirne durch ein in gewöhnlicher Weise eingerichtetes Fernrohr beobachtet, so kommt man besonders bei den

Sternen, die nahe am Zenith stehen, leicht in Lagen, welche ziemlich unbequem sind und dadurch für die Genauigkeit der Beobachtung nicht gerade sehr förderlich wirken: und weiter entfernen sich die Sterne infolge der scheinbaren Drehung des Himmels sehr schnell aus dem Gesichtsfelde, sodaß man das Rohr beständig nachdrehen muß, wenn man dasselbe Object eine Zeit lang beobachten will. Um den ersteren Uebelstand zu umgehen, hat man das folgende Hilfsmittel zur Anwendung gebracht: man setzt in die Axe des Rohres ein Glasprisma, dessen Querschnitt ein rechtwinkliges gleichschenkliges Dreieck bildet, so ein, daß die Strahlen, die vom Objective kommen, senkrecht durch eine der beiden rechtwinkligen Flächen eindringen; dieselben erleiden an der schrägen Fläche totale Reflexion und treten senkrecht zur anderen rechtwinkligen Fläche wieder aus dem Prisma. Dieser Fläche muß man nun das Objectiv gegenüberstellen, also seitwärts von der Axe des Rohres, sodaß man auch von der Seite her in dasselbe blickt, was in vielen Fällen weit bequemer ist. Allein diese Einrichtung läßt sich nur bei den sogenannten Theodolithen, durch die sich Azimuth und Höhe bestimmen läßt, und den Meridianinstrumenten, mit denen der Durchgang durch die Mittagslinie beobachtet wird, anbringen: bei dem Hauptinstrumente, dem Aequatoreale, ist sie nicht in gleicher Weise anwendbar, da dasselbe in seinen Stellungen viel größerer Abwechselung fähig sein muß. Dafür läßt sich aber die Axe, um welche sich dieses Rohr dreht und welche der Weltenaxe immer parallel gestellt wird, mit einem Uhrwerke versehen, durch welches das Instrument in eine mit der Umdrehung des Himmels übereinstimmende Bewegung versetzt wird, sodaß ein Stern, auf welchen man das Rohr einmal gerichtet hat, dauernd im Gesichtsfelde bleibt.

Beide Vortheile vereinigt nun Foucault's Siderostat, von dem wir in Fig. 151 eine Abbildung geben. Derselbe besteht aus einem Spiegel, der sich um eine horizontale Axe dreht, welche auf zwei aufrechtstehenden Säulen ruht: diese Säulen ruhen auf einer Anzahl Rollen, sodaß sie sich leicht um eine senkrechte Axe drehen lassen. An dem Spiegel ist rechtwinklig zu seiner Fläche ein Stab befestigt, der in einer von einer Gabel getragenen Hülse gleitet: die Gabel aber ist durch Vermittelung eines Theilkreises mit einer Axe in Verbindung gesetzt, welche der Weltaxe parallel ist und sich mit derselben Geschwindigkeit wie der Himmel dreht. Da sich diese Axe durch seitwärts angebrachte Zahn=

räder auch unabhängig vom Uhrwerke umdrehen läßt, so kann man durch diese Drehung und durch Einstellung des Theilkreises, der die Gabel trägt, immer bewirken, daß das Licht, welches von irgend einem Sterne kommt, in einer bestimmten Richtung, die mit der Axe des Fernrohres zusammenfällt, reflectiert wird: ist aber die Einstellung des Spiegels

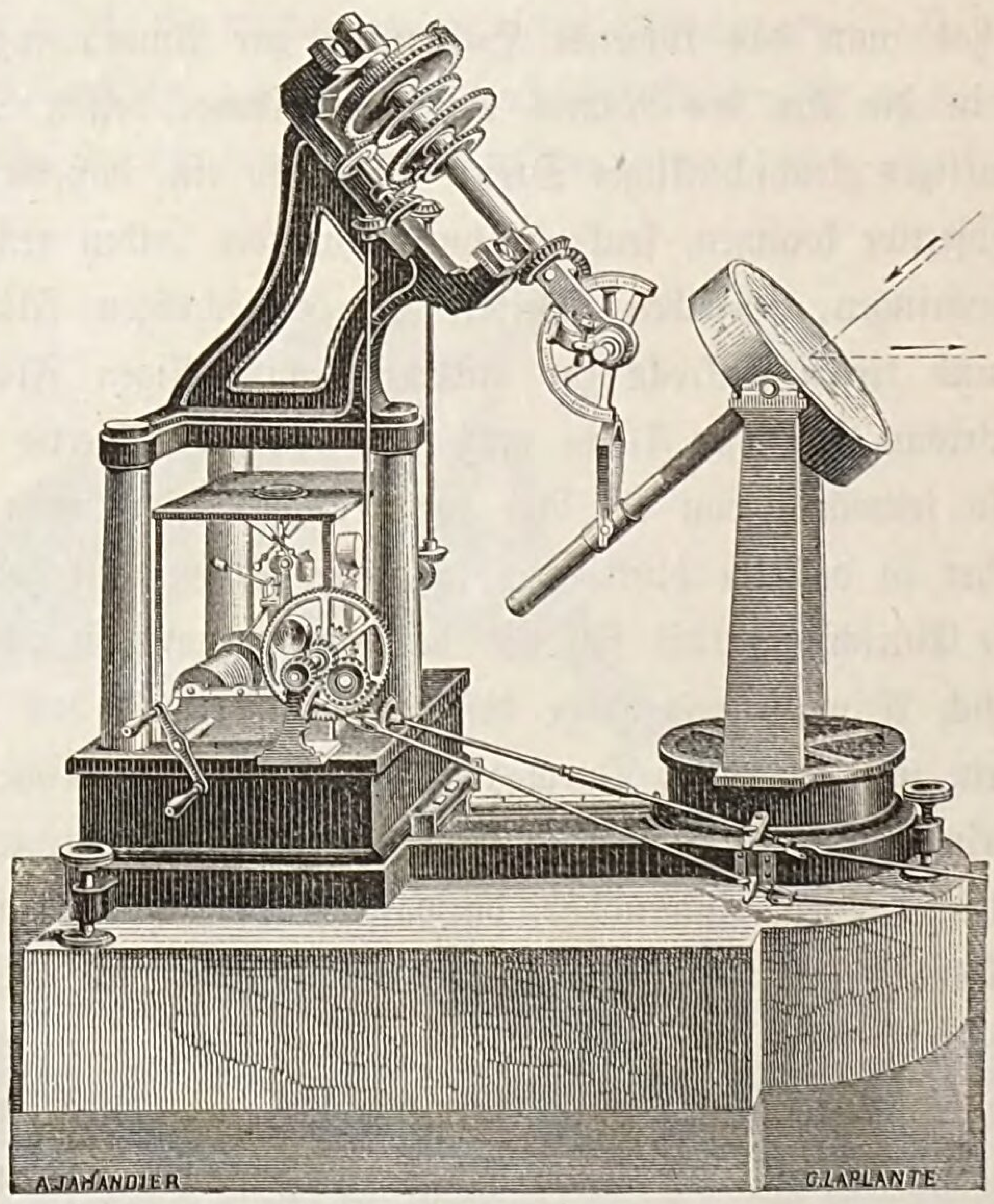


Fig. 151. Siderostat.

einmal erfolgt, so wird letzterer durch das Uhrwerk immer in einer solchen Lage erhalten, daß das Bild des Sternes dauernd in dem Fernrohre bleibt.

Die größte Schwierigkeit, die bei der Construction des Siderostaten zu überwinden ist, liegt in der Herstellung des Spiegels, dessen Oberfläche eine möglichst vollkommene Ebene bilden muß, damit die Lichtstrahlen in keiner Weise unregelmäßig reflectiert werden: es ist dies im vorliegenden Falle viel wichtiger, als bei den Heliostaten, da bei letzteren Instrumenten die reflectierten Lichtstrahlen entweder nur zur Beleuchtung anderer Gegenstände dienen, oder nur überhaupt Licht liefern sollen,

damit an demselben die Gesetze, nach denen diese Naturkraft wirkt, erforscht werden können, während die Siderostaten wirklich scharfe Bilder der Himmelskörper geben und die Bewegung derselben genau erkennen lassen müssen. Mit der Lösung dieses schwierigen Problems der Herstellung einer Spiegelfläche, welche den Forderungen der Optik hinlänglich genügt, hat sich nun besonders Foucault beschäftigt und ist schließlich zu einer Methode gelangt, in die er noch vor seinem Tode seinen Freund Ad. Martin eingeweiht hat: unter des letzteren und Wolf's Leitung ist denn auch durch den Mechaniker Eichens der erste Siderostat gebaut worden.

Ueber die Vorzüge dieses neuen Instrumentes, dessen Anwendbarkeit freilich noch nicht endgiltig festgestellt ist, spricht sich Wolf folgendermaßen aus: „Es giebt keinen Beobachter, der nicht schon mit den Schwierigkeiten zu kämpfen gehabt hätte, die sich zeigen, sobald man am Rohre eines Aequatoreals ein größeres Spectroskop, eine photographische Kammer, Projectionsapparate oder Instrumente zu photometrischen Untersuchungen befestigen will. Alle diese Schwierigkeiten verschwinden bei Anwendung des Siderostaten. Alle Instrumente der physikalischen Cabinete, mögen sie ein noch so großes Gewicht und Volumen haben, mögen sie irgend welche Gestalt besitzen, lassen sich jetzt vor dem Brennpunkte des Fernrohres aufstellen, wie vor der Oeffnung einer Camera obscura, und der Astronom kann das Licht aller Sterne unter denselben Bedingungen untersuchen, unter denen der Physiker das Sonnenlicht studiert hat. Hierdurch werden sich eine Menge von Versuchen, die jetzt für fast unmöglich gehalten werden, verhältnißmäßig leicht ausführen lassen, besonders diejenigen, die eine vollkommen ruhige Stellung der Meßinstrumente erfordern, wie z. B. die Bestimmung der absoluten Lage der Spectrallinien, der Verschiebung derselben, photometrische Messungen, u. s. w. Als der Spiegel des Siderostaten mit einem sehr guten Fernrohre der Pariser Sternwarte von 16 ^{cm} Oeffnung bei einer 100 bis 300fachen Vergrößerung an den Gegenständen des Himmels geprüft wurde, so zeigte sich durchaus keine Verzerrung der Bilder, selbst wenn die Strahlen gegen das Loth unter einem Winkel von mehr als 45° einfielen."

Der Verlust an Licht, der durch die Reflexion herbeigeführt wird, ist bei den Spiegeln aus poliertem Silber gering und übersteigt nach

Foucault's Untersuchungen nicht 9% der einfallenden Lichtmenge; außerdem hält die Politur sehr lange, und auch wenn die Oberfläche irgendwie geändert ist, läßt sich die Versilberung leicht wieder erneuern. Somit steht wohl zu hoffen, daß dieses neue Instrument in den Händen geschickter Beobachter die Erwartungen, die man von ihm hegt, rechtfertigen und eine Anzahl neuer astronomischer Untersuchungen und Entdeckungen veranlassen wird.

Zweites Kapitel.

Die Leuchtthürme.

§ 1. Katoptrische Leuchtthürme.

In den Zeiten, als die Seefahrten anfingen eine etwas größere Ausdehnung anzunehmen, als man sich nicht mehr damit begnügte, daß man während des Tages eine kurze Strecke längs der Küste zurücklegte, erkannte man auch bald die Nothwendigkeit, die Schiffe in der Nacht vor den Gefahren zu schützen, die ihnen in der Nähe der Küsten von Klippen, Sandbänken und Untiefen drohen, und ihnen den sicheren Weg zum Hafen vorzuzeichnen. Deshalb entzündete man in der Nähe der wichtigen Küstenpunkte Feuer, sogenannte Fanale, und errichtete später für dieselben eigene Thürme, die Leuchtthürme, von denen aus die Feuerzeichen auf einen größeren Kreis hin sichtbar wurden. So wurde zwischen den beiden Häfen der Insel Rhodus zur Aufnahme der Leuchtfeuer jene berühmte Statue des Sonnengottes, der Koloß zu Rhodus, errichtet, der zu den sieben Weltwundern gezählt wurde und 150 Jahre nach Christi Geburt bei einem Erdbeben zusammenbrach: die größte Berühmtheit aber erlangte der Leuchtthurm, der ungefähr 300 Jahre v. Chr. vor dem Hafen der Stadt Alexandria in Aegypten, welche Alexander d. Gr. gegründet hatte, auf der Insel Pharus erbaut wurde; derselbe soll noch im 12. Jahrhunderte gestanden haben und genoß ein solches Ansehen, daß der Name der Insel, auf der er stand, in alle Sprachen romanischen Stammes als Bezeichnung für jeden Leuchtthurm überging; ja auch im Deutschen bedienen wir uns bisweilen des Wortes Pharus für Leuchtthurm. In dem Maße, als die regelmäßige Schiffsverbindung zwischen den einzelnen Ländern sich ausbreitete, wurden auch allenthalben neue Leucht-

thürme erbaut; und während deren Zahl im Mittelalter noch nicht sehr groß war, werden jetzt alle Küsten, an denen die Fahrzeuge der verschiedenen Nationen verkehren, reichlich durch Feuer der verschiedensten Art erhellt.

Es ist nicht viel mehr als ein Jahrhundert vergangen, seitdem man angefangen hat, die Gesetze der Reflexion und der Brechung der Lichtstrahlen auch für die Erhöhung der Tragweite und des Glanzes der Lichter, die auf den Leuchtthürmen brennen, nutzbar zu machen: in früheren Zeiten brannte man einfach auf den Thürmen Feuer an, die ohne Schutz allen Unbilden der Witterung ausgesetzt waren, und erst später dachte man daran, die Feuer durch Lampen zu ersetzen, welche man durch Glastafeln gegen Wind und Wetter schützte, und endlich fügte man noch Spiegel aus poliertem Metalle hinzu, durch welche die Strahlen des Lichtes in weite Ferne hinausgetragen wurden. Allein diese Leuchtthürme mit Hohlspiegeln oder katoptrischen Leuchtthürme brachten anfänglich auch nur eine ziemlich mangelhafte Wirkung hervor, denn einmal waren die Lampen noch sehr unvollkommen, und dann waren die Hohlspiegel, denen man die Gestalt einer Kugelhaube gab, nicht sonderlich geeignet die Lichtstrahlen, welche sie auf ihrer verhältnißmäßig kleinen Fläche auffingen, bei der Reflexion genau zusammen zu halten und gerade in der bestimmten Richtung auf größere Entfernungen hinauszuwerfen. So hatte man, wie Renard in seinem Buche über die Leuchtthürme berichtet, im Jahre 1782 dieses System der Erleuchtung auf dem Thurme der Insel Cordouan an der Mündung der Gironde eingerichtet: allein trotzdem daß man nicht weniger als achtzig Lampen aufstellte, deren jede mit einem besonderen Spiegel versehen war, war doch das Licht, welches sie ausstrahlten, so gering, daß die Seefahrer dringend verlangten, daß das alte barbarische System des Mittelalters wieder eingeführt werden sollte.

Erst dadurch, daß man nach Angabe des Ingenieurs Teuler die sphärischen Spiegel durch parabolische ersetzte, ließ sich dieser Uebelstand verbessern: denn wenn man die Lampe genau in den Brennpunkt eines parabolischen Spiegels stellt, so werden alle Strahlen parallel zur Axe zurückgeworfen und bilden ein Bündel von cylindrischer Form; ihre Intensität aber nimmt nur wenig mit der Entfernung ab, weil sich die Strahlen nicht über eine größere Fläche zerstreuen. Der parabolische Spiegel wirkt also bezüglich des Lichtes in ähnlicher Weise, wie das

Sprachrohr bezüglich des Schalles, und die Abnahme von Lichtstärke, die doch schließlich eintritt, rührt nur daher, daß die Strahlen die Luft durchwandern müssen und durch dieselbe, besonders wenn sich in ihr einige Nebelmassen vorfinden, in ihrem Laufe gehemmt werden. Eine weitere Verbesserung wurde durch denselben Techniker eingeführt, es wurden nämlich die gewöhnlichen Lampen durch Lampen mit doppeltem Luftzuge, die Argand kurz vorher erfunden hatte, ersetzt; später führte man an deren Stelle die sogenannten Carcellampen ein, bei denen das Oel beständig und gleichmäßig dem Brenner durch ein Uhrwerk zugeführt wird, und hierdurch erhöhte man noch die Lichtmenge, die vom Thurme aus nach dem Horizonte hinausgesendet wurde. Endlich ist Teuler auch noch als Erfinder der unterbrochenen oder intermittirenden Feuer anzusehen, indem er den Hohlspiegel durch ein Uhrwerk in eine Kreisbewegung versetzte, sodaß derselbe um die feststehende Lampe so herumlief, daß der Brenner derselben beständig im Brennpunkte des Spiegels verblieb: hierdurch wurden die Strahlen der Reihe nach in regelmäßigem Wechsel nach allen Punkten des Horizontes hingeworfen, und von einem Schiffe aus gesehen, erschien das Licht nur immer nach bestimmten Pausen, wenn die Axe des Spiegels in die betreffende Richtung fiel. Derartige Feuer wurden im Jahre 1784 in Dieppe und 1790 auf der Insel Cordouan errichtet.

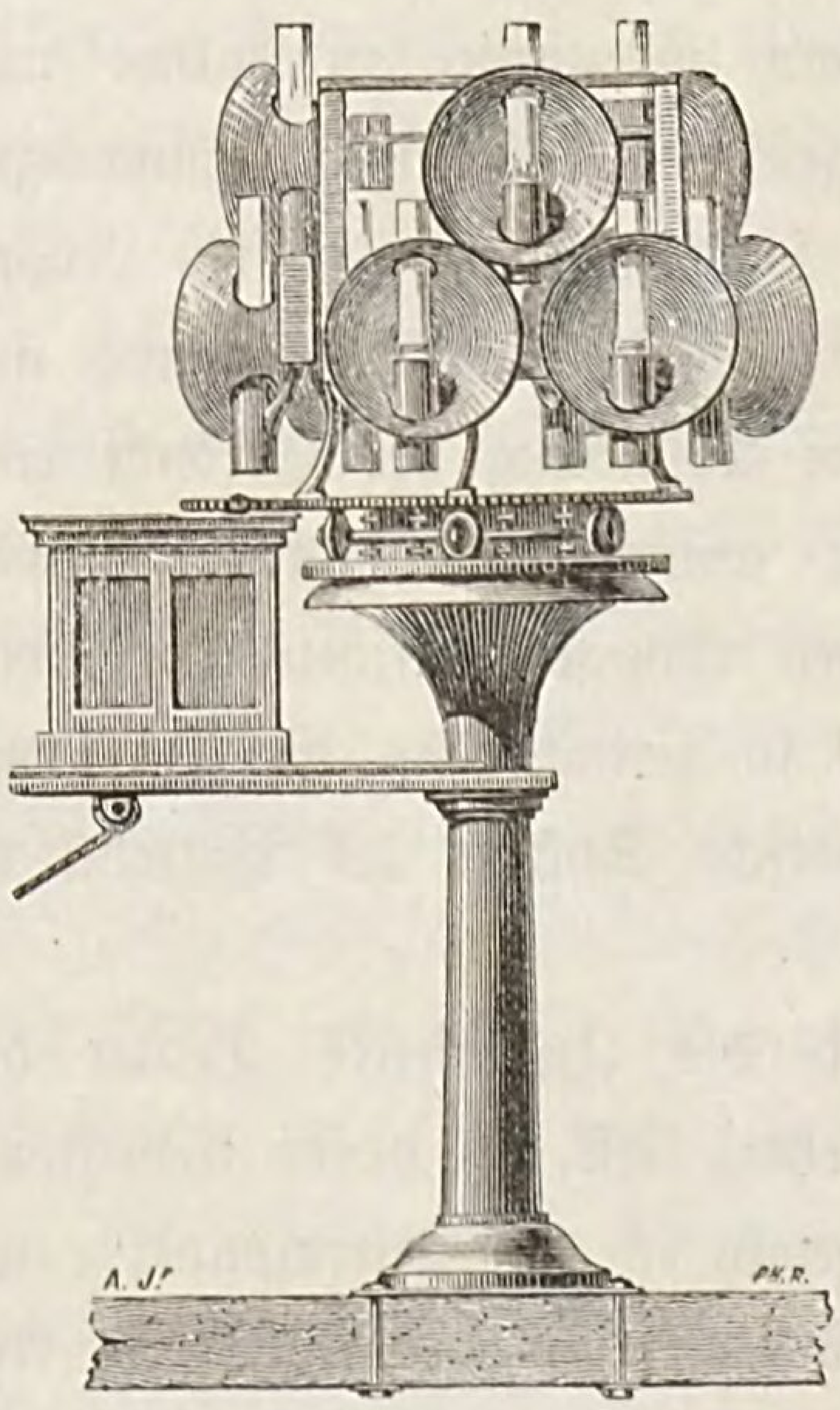


Fig. 152. Katoptrischer Leuchtthurm.

Die katoptrischen Apparate bestehen jetzt gewöhnlich aus einer Gruppe von Lampen deren jede sich im Brennpunkte eines parabolischen Spiegels befindet, und die mit ihren Spiegeln durch ein Uhrwerk um eine Axe gedreht werden. So stellt Fig. 152 einen Apparat mit neun Lampen dar, welche in drei Gruppen so vertheilt sind, daß immer je drei derselben ihr Licht nach derselben Stelle des Horizontes senden; während einer vollständigen Umdrehung wird man also an einem entfernten Punkte dreimal das Licht erscheinen sehen, während in der Zwischenzeit Finsterniß

herrscht. Dadurch, daß man die Zahl der Gruppen von Lampen und die Umdrehungsgeschwindigkeit abändert, läßt sich bewirken, daß die Verfinsterungen in verschiedenen Zwischenzeiten auf einander folgen, und hierdurch lassen sich leicht die einzelnen Leuchtthürme, die an derselben Küstenstrecke liegen, von einander unterscheiden.

Die Tragweite der parabolischen Spiegel ist ziemlich bedeutend: denn nach Untersuchungen, die Biot und Arago anstellten, war ein Licht, welches von einem Spiegel von 81 cm Oeffnung reflectiert wurde, bei günstiger Witterung durch das Fernrohr noch in einer Entfernung von 40 Lieues oder 24 geographischen Meilen sichtbar. Bei alledem aber ist der Verlust an Leuchtkraft bei der Reflexion durchaus nicht unbedeutend, sondern er beträgt mindestens die Hälfte der Strahlen, die auf den Spiegel treffen: dazu kommt noch, daß die Oberfläche der Metallspiegel durch die salzhaltigen Dämpfe, welche in der Nähe des Meeres die Luft beständig erfüllen, ziemlich schnell angegriffen wird. Wegen dieser Unzuträglichkeiten hat man in neueren Zeiten das System der katoptrischen Leuchtthürme immer mehr aufgegeben: wenigstens bei Leuchtthürmen erster Classe kommt es jetzt weit seltener zur Anwendung, sondern hauptsächlich nur da, wo es gilt, schmale Meeresarme oder Stromengen zu erleuchten oder auch ein anderes, größeres Licht zu unterstützen. An Stelle der katoptrischen aber treten immer mehr die dioptrischen Leuchtthürme, deren Einrichtung auf einer Erfindung des berühmten Physikers Fresnel vom Jahre 1822 beruht, nämlich auf einer Linse, die man nach dem Erfinder geradezu als Fresnellinse bezeichnet: mit dieser Linse und der Einrichtung der Leuchtthürme, in denen sie angewendet ist, wollen wir uns jetzt beschäftigen.

§ 2. Dioptrische Leuchtthürme.

Wenn die Strahlen des Lichtes und der Wärme einen durchsichtigen Körper durchdringen, so wird ein nicht geringer Theil derselben in ihm zurückgehalten, von ihm absorbiert, und zwar ist der Verlust um so größer, je dicker die Schicht ist, welche durchwandert werden muß: wenn man daher die Sonnenstrahlen durch ein Brennglas von etwas größeren Dimensionen in einem Punkte concentrieren will, so ist der Verlust im mittleren, also dicksten Theile ein sehr beträchtlicher. Um nun diesen Uebelstand zu vermindern, machte schon der berühmte Naturforscher Buffon

den Vorschlag, die Linsen, die als Brenngläser benutzt werden sollten, treppenförmig zu schleifen, sodaß der innerste Theil derselben ziemlich dünn wurde, etwa in der Weise, wie in Fig. 154 bei der Linse A angedeutet ist: die Buffon'sche Treppenlinse bestand also aus einem inneren, linsenförmigen Theile, der von concentrischen Ringen, die selbst gewissermaßen als Theile größerer Linsen anzusehen waren, umgeben wurde. Allein der Guß des Glases und das Schleifen und Polieren dieser Linsen bereitete so viele Schwierigkeiten, daß es unmöglich war dieselben im größeren Maßstabe auszuführen. Als nun im Jahre 1819 der damals noch junge Physiker Fresnel durch Arago in die Commission berufen wurde, die die Aufgabe hatte die Einrichtung der Leuchtthürme zu verbessern, so griff derselbe den Gedanken Buffon's wieder auf, brachte aber an der Treppenlinse, welche von da an Fresnellinse genannt wurde, zwei so wesentliche Aenderungen an, daß von da ab erst dieser Apparat wirklich zur Anwendung kommen konnte.

Zunächst ließ er die Treppenlinsen mit weiter Oeffnung nicht aus einem Stücke verfertigen, sondern aus mehreren Theilen, die sich viel leichter herstellen lassen und schließlich durch einen Kitt, welcher hauptsächlich aus Hausenblasenleim bestand, sehr fest mit einander verbunden werden konnten. Durch diese Einrichtung läßt sich an zweiter Stelle noch ein anderer Fehler der einfachen Linsen vermeiden, den man mit dem Namen der sphärischen Abweichung bezeichnet. Wenn nämlich auf eine gewöhnliche Linse, deren Flächen kugelförmig geschliffen sind, Strahlen parallel zur Axe treffen, so nimmt man im Allgemeinen an, daß sich dieselben nach der Brechung hinter der Linse in einem Punkte vereinigen, den man ihren Brennpunkt nennt: allein dies gilt streng genommen eigentlich nur für die Strahlen, welche durch den mittleren Theil der Linse gehen, während die mehr nach dem Rande zu liegenden Strahlen verhältnißmäßig stärker gebrochen werden und schon vor dem Brennpunkt vorbeigehen; setzt man nun die Linse aus einzelnen Ringen zusammen, so ist es möglich die entfernteren Ringe so zu schleifen, daß sie das Licht weniger stark brechen, als wenn ihre Oberfläche derselben Kugel wie die inneren angehörte. Fresnel selbst spricht sich über diesen Punkt folgendermaßen aus: „Wie es scheint, hatte Buffon weiter einen großen Vortheil nicht beachtet, den man erlangen kann, wenn man jeden einzelnen Ring der Oberfläche besonders anfertigt: man kann nämlich

bei diesem Verfahren die sphärische Abweichung fast vollständig verbessern, wenn man nur die Zahl der Ringe genügend groß macht und für jeden den Mittelpunkt und Krümmungsradius des erzeugenden Kreisbogens besonders berechnet. Buffon dachte sich zuerst die Oberfläche der Linse begrenzt durch eine einzige Kugelfläche und nahm weiter an, daß jeder einzelne Theil stufenweise tiefer gelegt werde, jedoch so, daß die Theile der neuen sphärischen Oberflächen mit der ursprünglichen Fläche concentrisch werden: allein dies ist nicht das richtige Mittel zur Verbesserung der sphärischen Abweichung. Die Rechnung zeigte, daß die Kreisbogen, durch deren Umdrehung um die Axe die Ringe entstehen, nicht nur nicht denselben Mittelpunkt haben dürfen, sondern daß ihre Mittelpunkte nicht

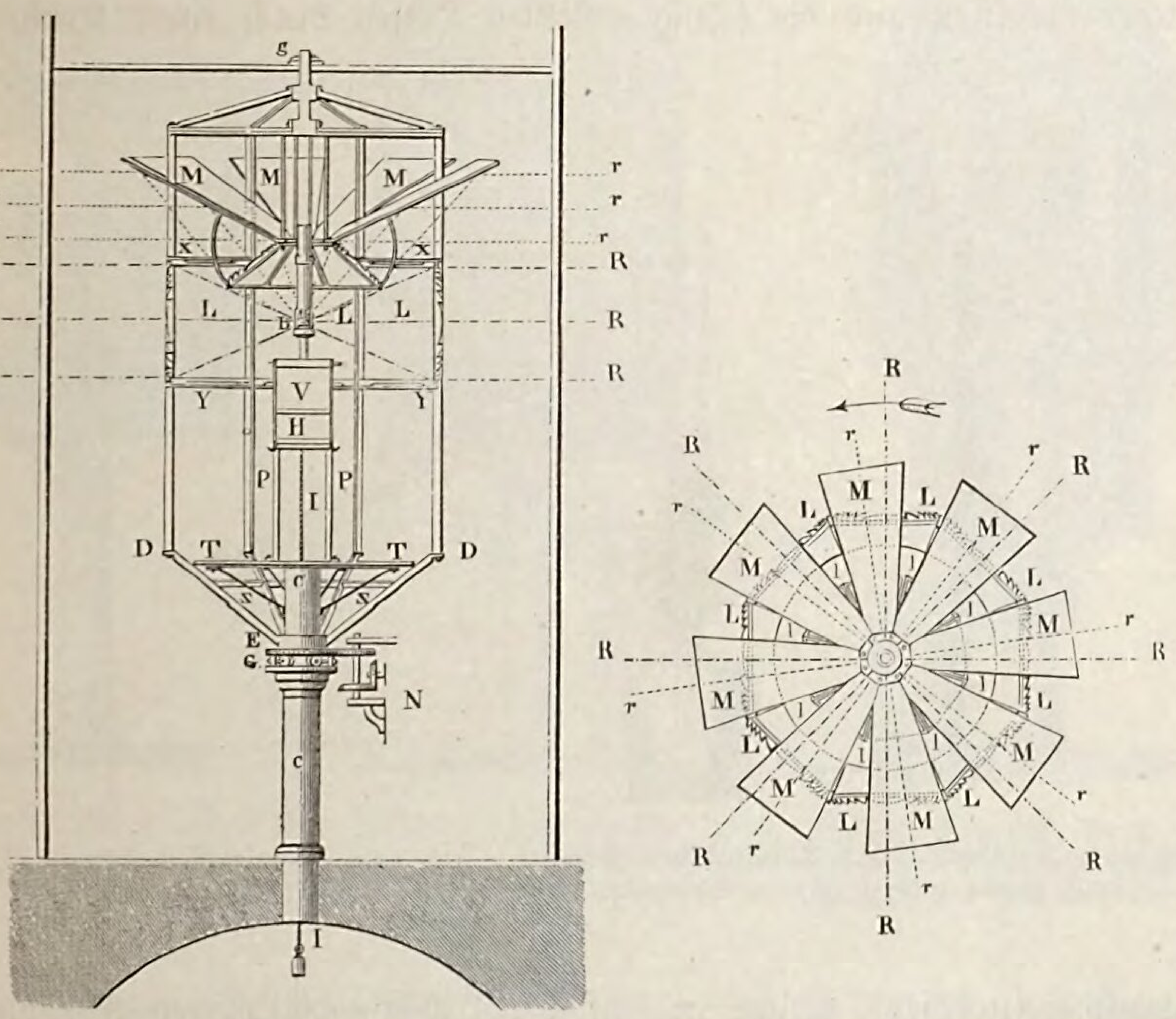


Fig. 153. Ursprüngliche Einrichtung des Linsenapparates von Fresnel: Aufriß und Grundriß.

einmal in die Axe der Linse fallen dürfen, daß sie um so weiter von derselben entfernt liegen müssen, je weiter der Ring selbst von ihr absteht; in der Weise, daß die Kreisbogen bei ihrer Umdrehung um die Axe nicht Theile von concentrischen Kugeloberflächen beschreiben, sondern Flächen, welche man in der Geometrie als Ringflächen bezeichnet.

Um die von der Lampe, welche sich im gemeinsamen Brennpunkte aller Linsen befindet, aus denen der dioptrische Apparat zusammengesetzt

ist, ausgesendeten Strahlen möglichst vollständig zu benutzen, brachte Fresnel nach Oben hin noch Linsen in schräger Stellung an, deren Umrisse die Gestalt von Trapezen zeigten; durch diese wurden die Strahlen, welche nach Oben gehen und ohne diese Einrichtung verloren sein würden, auf schräg gestellte Spiegel geworfen, die sie in horizontaler Richtung reflectierten. Fig. 153 zeigt einen solchen Apparat, und zwar sehen wir dort bei B die Lampe, bei L die aufrechtstehenden Fresnellinsen, die das Licht unmittelbar in die horizontale Richtung R brechen, weiter in der Höhe xx die schräg gestellten Linsen und bei M in fächerförmiger Anordnung die Spiegel, welche die oberen Strahlen ebenfalls in die horizontale Richtung r bringen. Später hat Fresnel dieses System selbst wieder verlassen und die schräg gestellten Linsen durch einen Kranz von

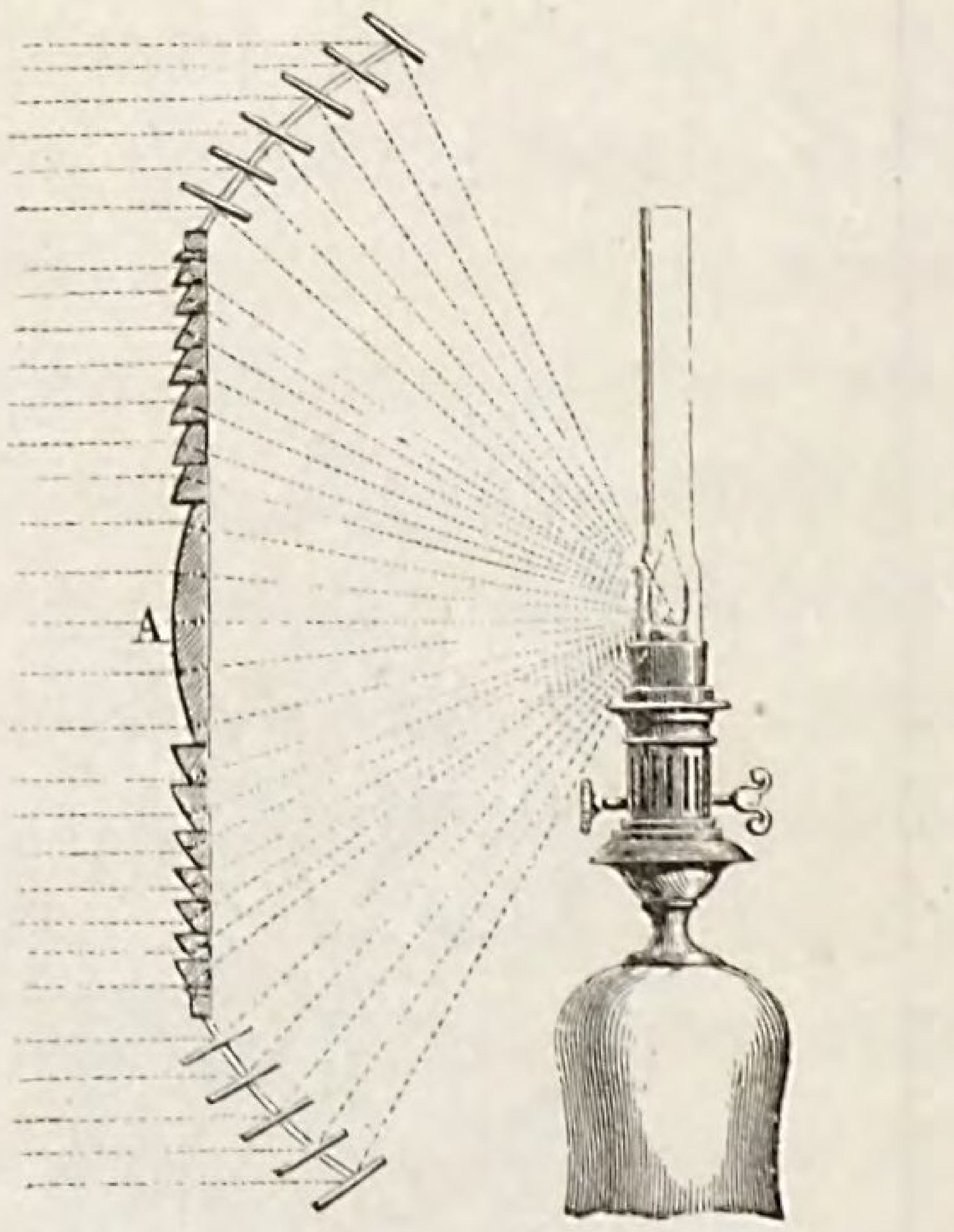


Fig. 154. Katadioptrischer Apparat von Fresnel mit Linsen und geneigten Spiegeln.

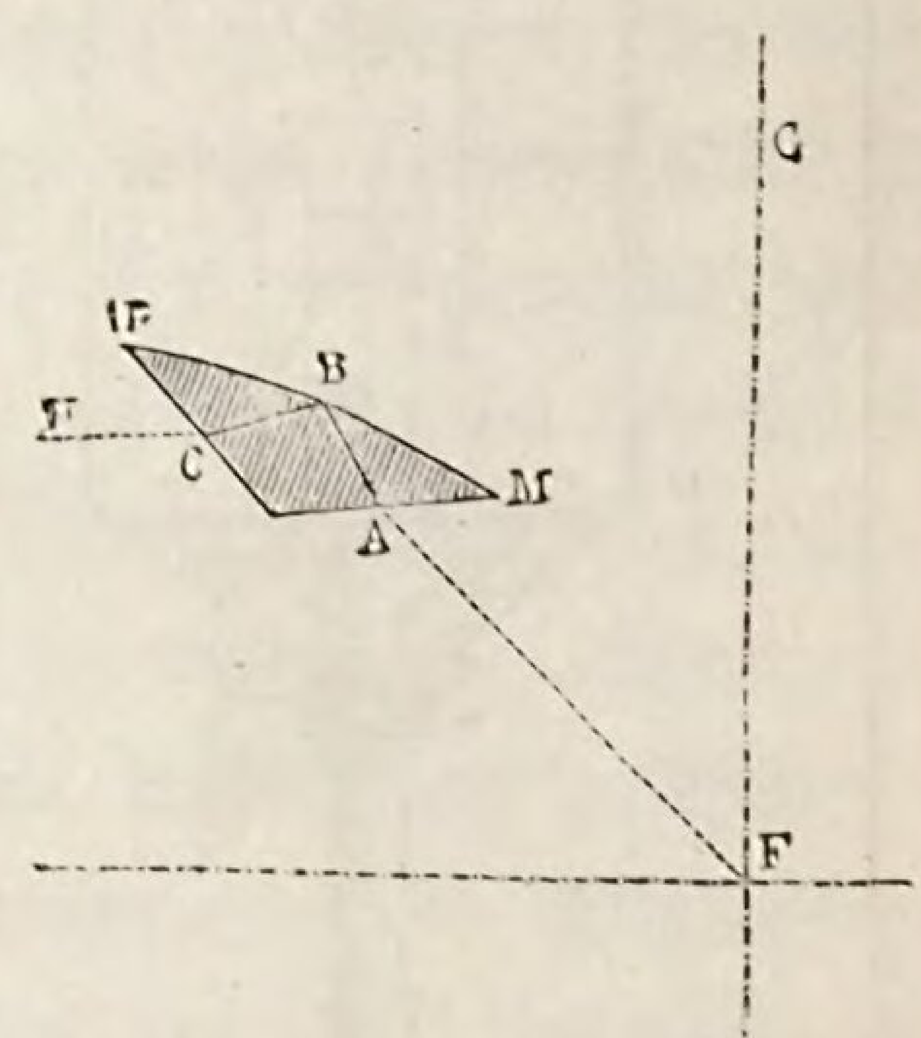


Fig. 155. Totale Reflexion in einem Glasprisma.

Planspiegeln ersetzt, welche in einfacherer Weise die oberen Strahlen so reflectieren, daß sie horizontal werden (Fig. 154), und endlich hat er noch an Stelle dieser Spiegel sehr stumpfwinklige Glasprismen eingeführt, in denen die Strahlen totale Reflexion erleiden (Fig. 155). Die Leuchtthürme, auf welchen derartige Vorrichtungen angebracht sind, bezeichnet man als katadioptrische Leuchtthürme.

Fresnel beschränkte sich nicht auf diese wesentliche Umänderung des Linsenapparates, sondern er verbesserte im Verein mit Arago auch die Lampen, führte bei denselben das von Rumford ersonnene System der

mehrfachen Brenner ein und verband damit in höchst glücklicher Weise das System Carcel, bei welchem das Oel den Brennern durch ein Uhrwerk beständig zugeführt wird: dadurch erhielt das Licht den Grad von Intensität und Gleichmäßigkeit, der bei diesen Beleuchtungsvorrichtungen durchaus erreicht werden muß.

Ein Wort nun noch über die Mittel, die man anwendet, um die Feuer der Leuchtthürme von einander zu unterscheiden und um den Seefahrern die Möglichkeit zu verschaffen, daß sie aus dem Anblicke der

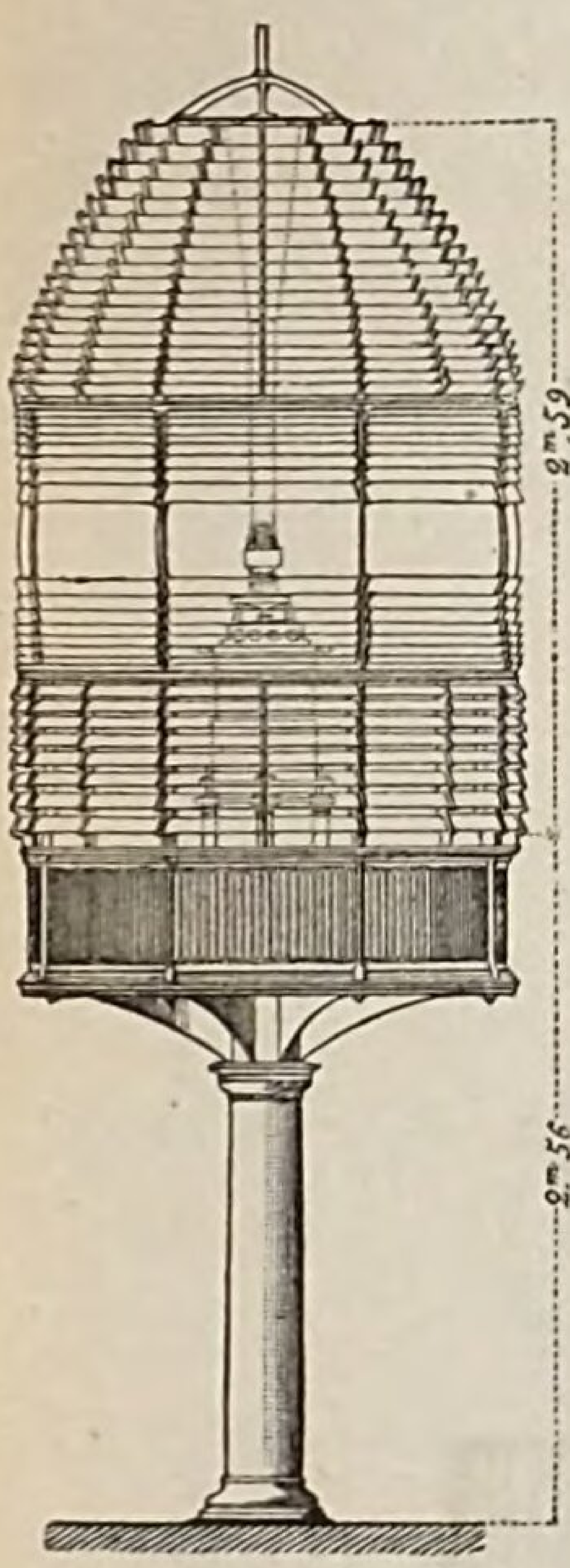


Fig. 156. Apparat erster Ordnung mit festem, weißem Lichte.

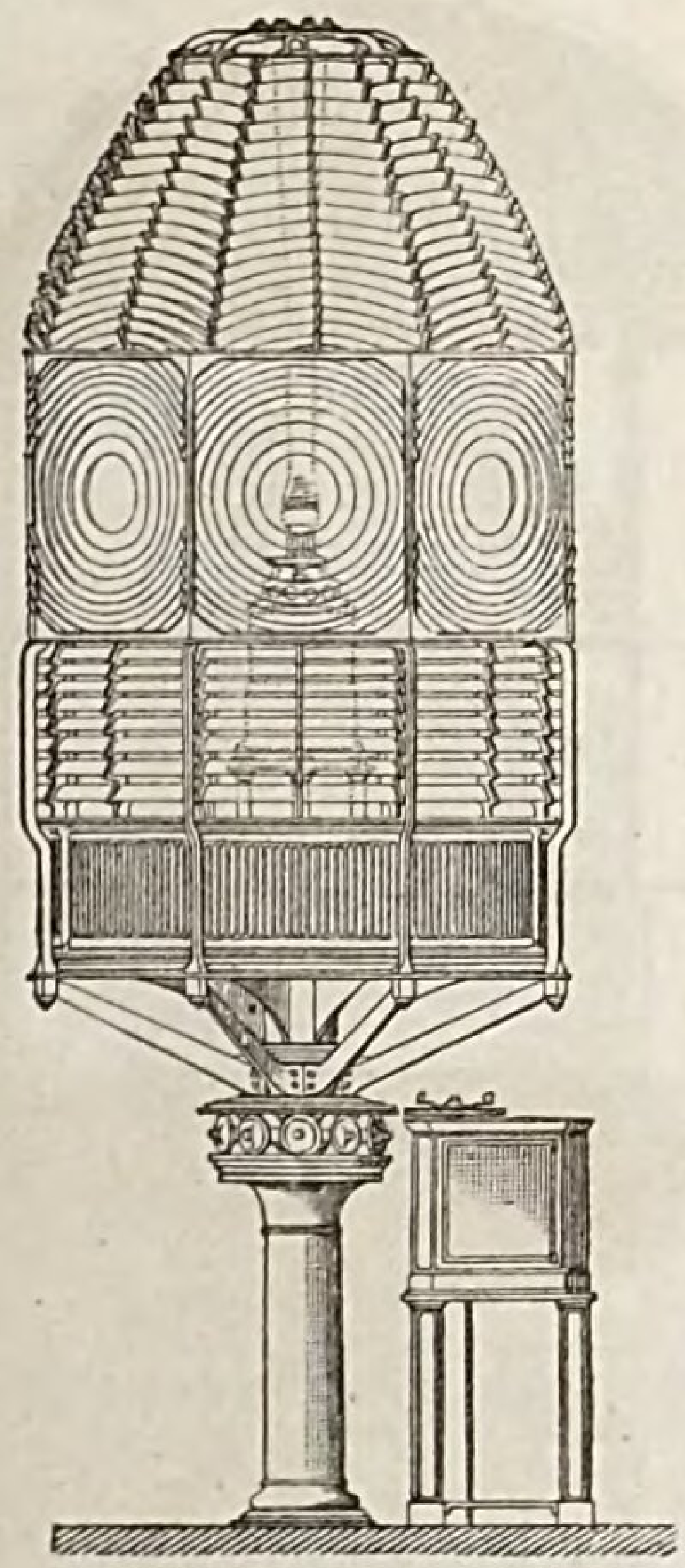


Fig. 157. Apparat erster Ordnung mit intermittierendem, weißem Lichte.

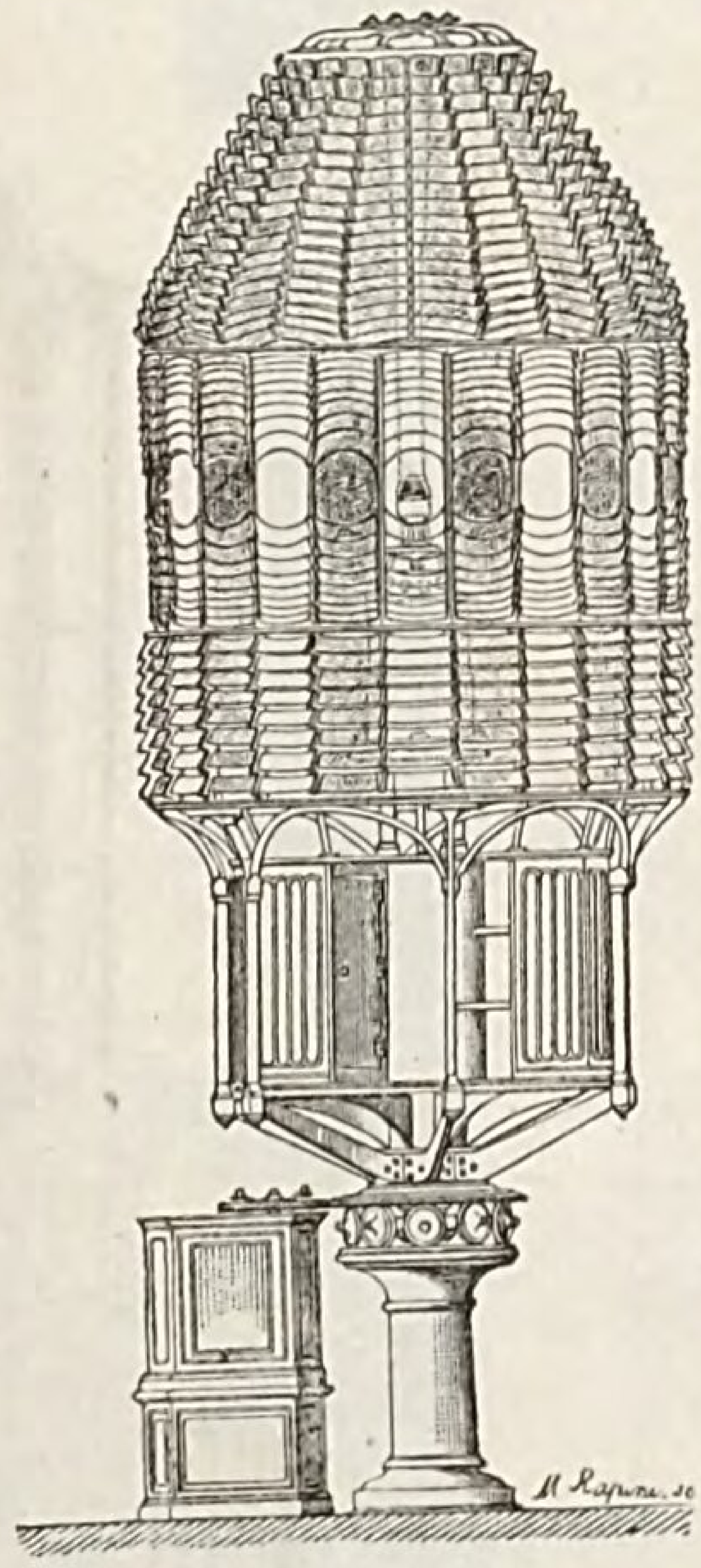


Fig. 158. Apparat erster Ordnung mit intermittierendem, weißem und rothem Lichte.

Lichter erkennen, welchem Punkte der Küste sie sich gegenüber befinden. Zunächst theilt man die Leuchtthürme nach der Intensität und der Tragweite ihres Lichtes in drei Ordnungen: bei den Leuchtthürmen **erster Ordnung** haben die Lampen eine vierfache Reihe von ringförmigen Dochten, bei denen **zweiter Ordnung** ist diese Reihe dreifach und bei denen **dritter Ordnung** nur doppelt. Die Lichtstärke verhält sich bei den drei Ordnungen wie die Zahlen 4, 2 und 1 und kommt der Intensität von 20, 10 und 5 Carcellampen gleich; in neuerer Zeit hat man aber die Intensität noch bedeutend gesteigert.

Weiter unterscheidet man die Apparate danach, ob die Lichter fest oder intermittierend sind, sowie nach der Färbung derselben. Auf manchen Leuchtthürmen steht der Linsenapparat fest und es haben dann die Linsen eine cylindrische Form (Fig. 156), bei anderen hinwieder dreht sich der Apparat und für den Beobachter, der sich in der Ferne in einer bestimmten Richtung befindet, verschwindet das Licht in be-

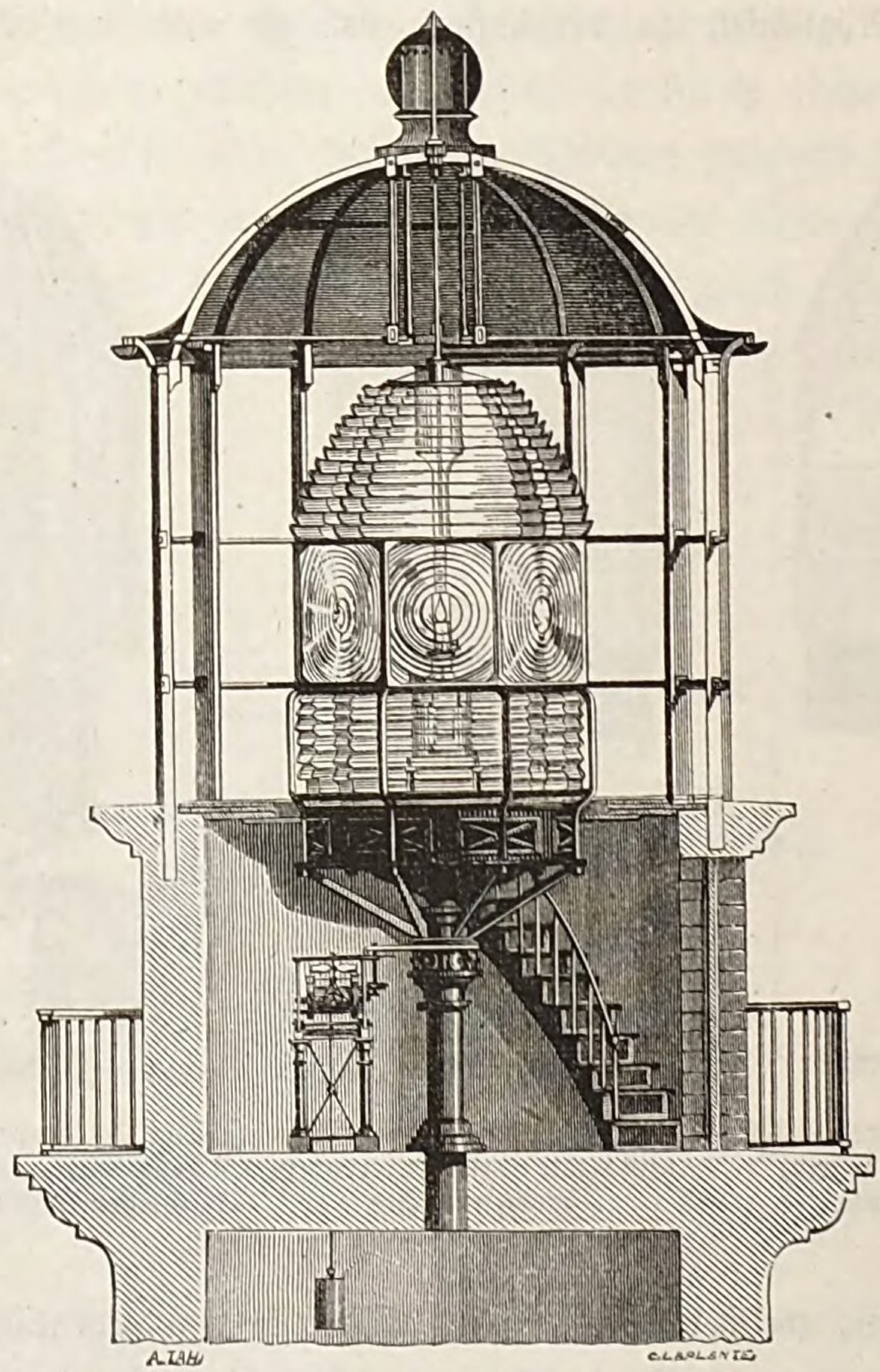


Fig. 159. Linsenapparat und Laterne eines Leuchtthurmes erster Ordnung.

stimmten Zwischenräumen, es wird intermittierend. In diesem Falle besteht der Apparat aus einer acht- oder mehreckigen Trommel, in deren Felder die Linsen eingesetzt sind und welche durch ein Uhrwerk in Umdrehung versetzt werden kann; durch Wechsel in den Farben der Gläser, besonders durch Verwendung des rothen und grünen Glases neben dem weißen läßt sich die Mannigfaltigkeit des Anblicks noch erhöhen. So

zeigt Fig. 157 eine achteckige Trommel mit nur weißem Glase: dreht sich dieselbe z. B. in acht Minuten einmal um ihre Axe, so giebt sie in jeder Minute eine Verfinsterung; Fig. 158 dagegen stellt eine vierundzwanzigeckige Trommel dar, bei der weiße und rothe Gläser wechseln: bei derselben Umdrehungsgeschwindigkeit werden die Verfinsterungen nach

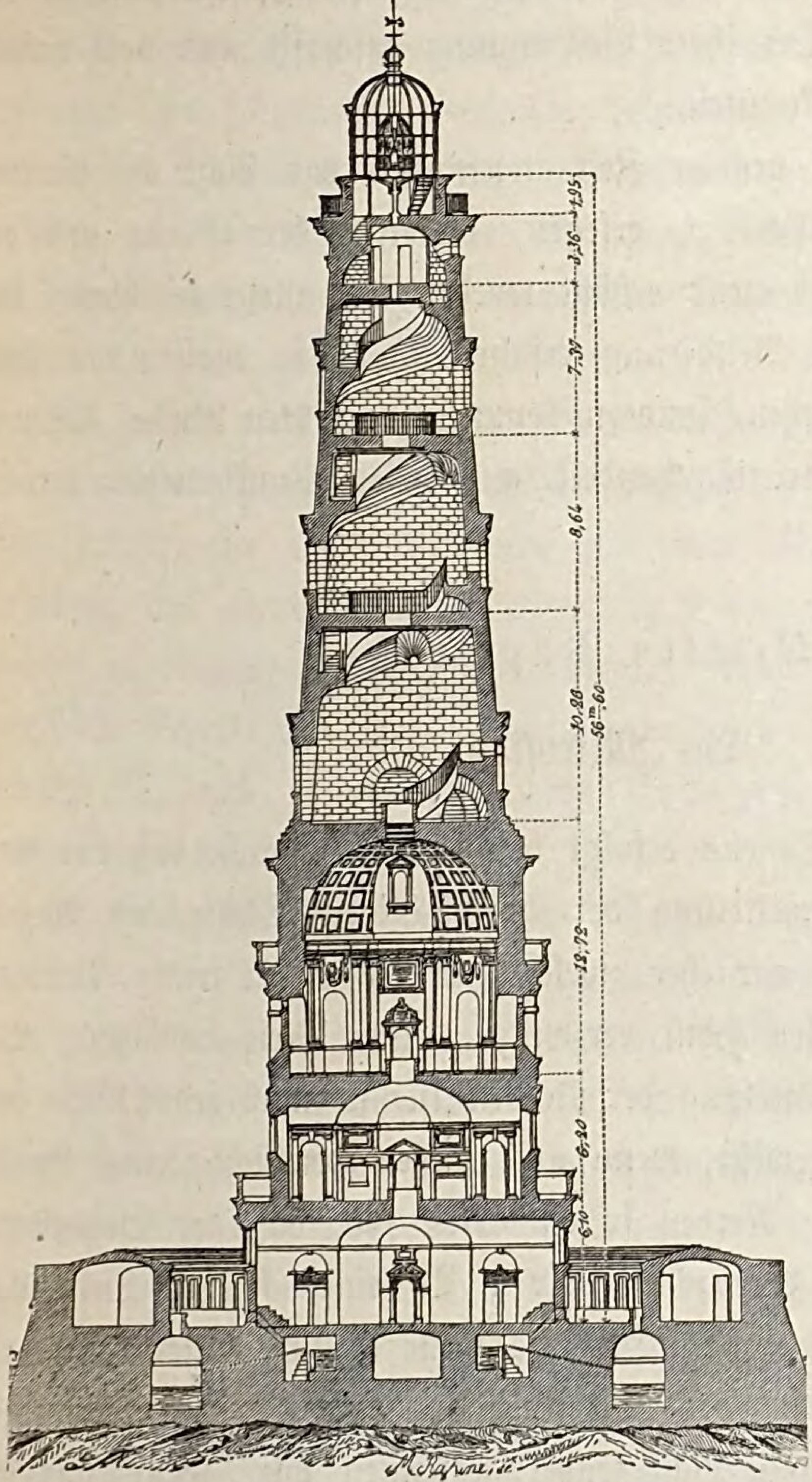


Fig. 160. Inneres des Leuchtthurmes auf der Insel Cordouan.

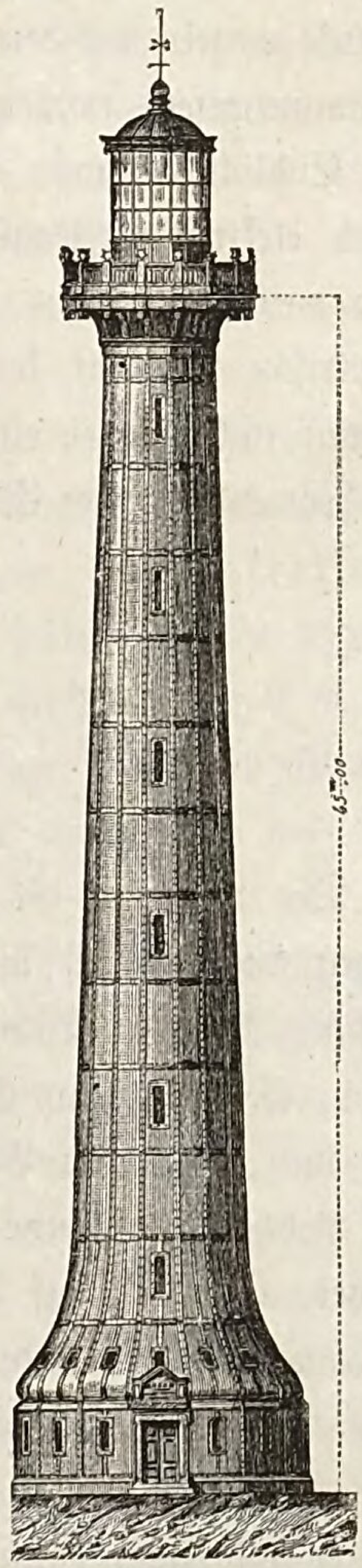


Fig. 161. Leuchtthurm von Neu-Caledonien.

je 20 Secunden auf einander folgen und das Licht wird abwechselnd weiß und roth erscheinen. Wie die Apparate in den Laternen aufgestellt sind, welche die Höhe der Leuchtthürme krönen, und in welcher Weise die Thürme selbst erbaut werden, läßt sich aus Fig. 159, 160 und 161

ersehen. Der Leuchtthurm auf der Insel Cordouan, die an der Mündung der Gironde vor der Halbinsel Medoc liegt, ist ganz aus Stein errichtet und gewährt einen durchaus monumentalen Anblick: der neuerbaute Leuchtthurm in Neu-Caledonien erscheint dagegen äußerlich sehr nüchtern; derselbe ist aus Eisenplatten und Gußeisen construirt und wurde in seinen Theilen in Paris vollständig fertiggestellt, sodaß die Stücke einzeln an den Ort ihrer Bestimmung geschafft und dort einfach zusammengesetzt werden konnten.

Endlich hat man in neuerer Zeit angefangen das Licht der Lampen durch elektrisches Kohlenlicht zu ersetzen, wodurch der Glanz und die Tragweite des Lichtes bedeutend erhöht worden ist: allein da hierbei der dioptrische Apparat keine Aenderung erfahren hat, so wollen wir jetzt hierauf nicht weiter eingehen, sondern kommen im letzten Buche, das von der Anwendung der Elektricität handelt, auf diesen Punkt wieder zurück.

Drittes Kapitel.

Das Mikroskop.

Der Vorgang des Sehens erfolgt bekanntlich dadurch, daß von den Gegenständen durch Vermittelung der durchsichtigen Theile des Auges auf der Netzhaut Bilder entstehen, welche auf die vielen feinen Nervenenden, welche sich in dieser Haut verzweigen, einen Reiz ausüben. So fein nun auch diese Verästelung der Nerven ist, so muß jedes Bild auf der Netzhaut doch eine gewisse, wenn auch außerordentlich geringe Größe besitzen, wenn es auf die Nerven so einwirken soll, daß der Gegenstand von uns gesehen wird: Beobachten wir z. B. einen kleinen Luftballon beim Aufsteigen, so wird dessen Bild, je mehr er sich entfernt, um so kleiner, und schließlich wird er selbst dem schärfsten Auge verschwinden; daß er uns auch dann noch Licht sendet, erkennen wir, wenn wir ihn durch ein Fernrohr suchen. Kommt nun ein Gegenstand unserem Auge näher, so wird sein Bild auf der Netzhaut größer und wir sehen ihn deutlicher: doch auch dies erreicht eine Grenze, denn wenn der Gegenstand zu nahe ist, so vereinigen sich die Strahlen, die von einem Punkte seiner Oberfläche ausgehen, nicht wieder in einem Punkte der Netzhaut und das Bild wird undeutlich und unklar. Die Entfernung, bis zu welcher

man höchstens die Körper dem Auge nähern darf, ohne daß das Sehen für das Auge beschwerlich wird und die Bilder an Schärfe verlieren, heißt die **deutliche Sehweite**: dieselbe beträgt beim normalen Auge etwa 25 bis 30 cm. Daß auch in diesem Falle diejenigen Strahlen, die in der Nähe des Randes durch die brechenden Körper, z. B. durch die Krystalllinse des Auges hindurchgehen, sich hauptsächlich nicht mit zum Bilde vereinigen und dadurch die Undeutlichkeit desselben verursachen, sieht man aus folgendem Versuche: bohrt man in ein Kartenblatt mit einer Nadel ein feines Loch und hält man dasselbe nahe vor das Auge, so kann man die Gegenstände, die man durch das Loch erblickt, viel näher heranbringen, bevor sie undeutlich werden, und sie erscheinen uns größer, als beim gewöhnlichen Sehen.

Viel besser aber kann man sich in diesem Falle dadurch helfen, daß man linsenförmig geschliffene Gläser zwischen das Auge und den Gegenstand bringt, die man allgemein mit dem Namen der **Mikroskope** bezeichnet, und durch deren Vermittelung das vergrößerte Bild des Gegenstandes in deutlicher Sehweite erscheint. Man unterscheidet zwei Arten von Mikroskopen: die **Loupe**, die, wenn sie an einem geeigneten Stative befestigt ist, auch **einfaches Mikroskop** genannt wird, und das **zusammengesetzte Mikroskop**.

Es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, fast kann man sagen gewiß, daß schon die Alten die strahlenbrechende Kraft der von Kugelflächen begrenzten durchsichtigen Körper kannten: so finden wir in einer Comödie des Aristophanes erwähnt, daß man mit einem Glasstückchen Feuer entzünden kann, und ferner ist es kaum glaublich, daß die Steine zu den außerordentlich künstlichen Mosaikarbeiten, die uns aus dem Alterthume erhalten sind, ohne Hilfe von Vergrößerungsgläsern so fein geschliffen und poliert, und in so kunstvoller Weise zusammengesetzt werden konnten. Ob freilich diese Vergrößerungsgläser in linsenförmig geschliffenen oder gegossenen Glasstücken bestanden haben, oder in Glaskugeln, die mit Wasser gefüllt waren, läßt sich nicht mit Bestimmtheit sagen, doch spricht für letztere Ansicht folgende Stelle aus den Quaestiones naturales des Senaca: „Alle Gegenstände erscheinen viel größer, wenn sie durch Wasser betrachtet werden. Liest man feine und undeutliche Schriftzüge durch Glaskugeln, die mit Wasser gefüllt sind, so werden sie für das Auge viel größer und klarer zu unterscheiden.“ Aber wenn die Alten auch

die strahlenbrechende Kraft der Glas- oder Wasserkugeln gekannt, wenn sie selbst Linsen besessen haben, so verstanden sie doch wahrscheinlich weder die Kunst, denselben eine genaue Form zu geben, noch wußten sie irgend welchen Nutzen für die Wissenschaft aus ihnen zu ziehen: denn es ist nicht eine einzige naturwissenschaftliche Beobachtung in den Schriften der Alten aufgezeichnet worden, aus welcher sich schließen ließe, daß im Alterthume die Loupen bei wissenschaftlichen Untersuchungen Verwendung gefunden hätten.

§ 1. Loupe und einfaches Mikroskop.

Die einfachste Form des Vergrößerungsglases oder Mikroskopes ist die Loupe, welche nur aus einer ziemlich stark gewölbten planconvexen oder biconvexen Linse zu bestehen braucht, die in einer Fassung befestigt ist, deren Gestalt je nach der beabsichtigten Verwendung verschieden ist. Man bringt den Gegenstand AB (Fig. 162), den man betrachten will,

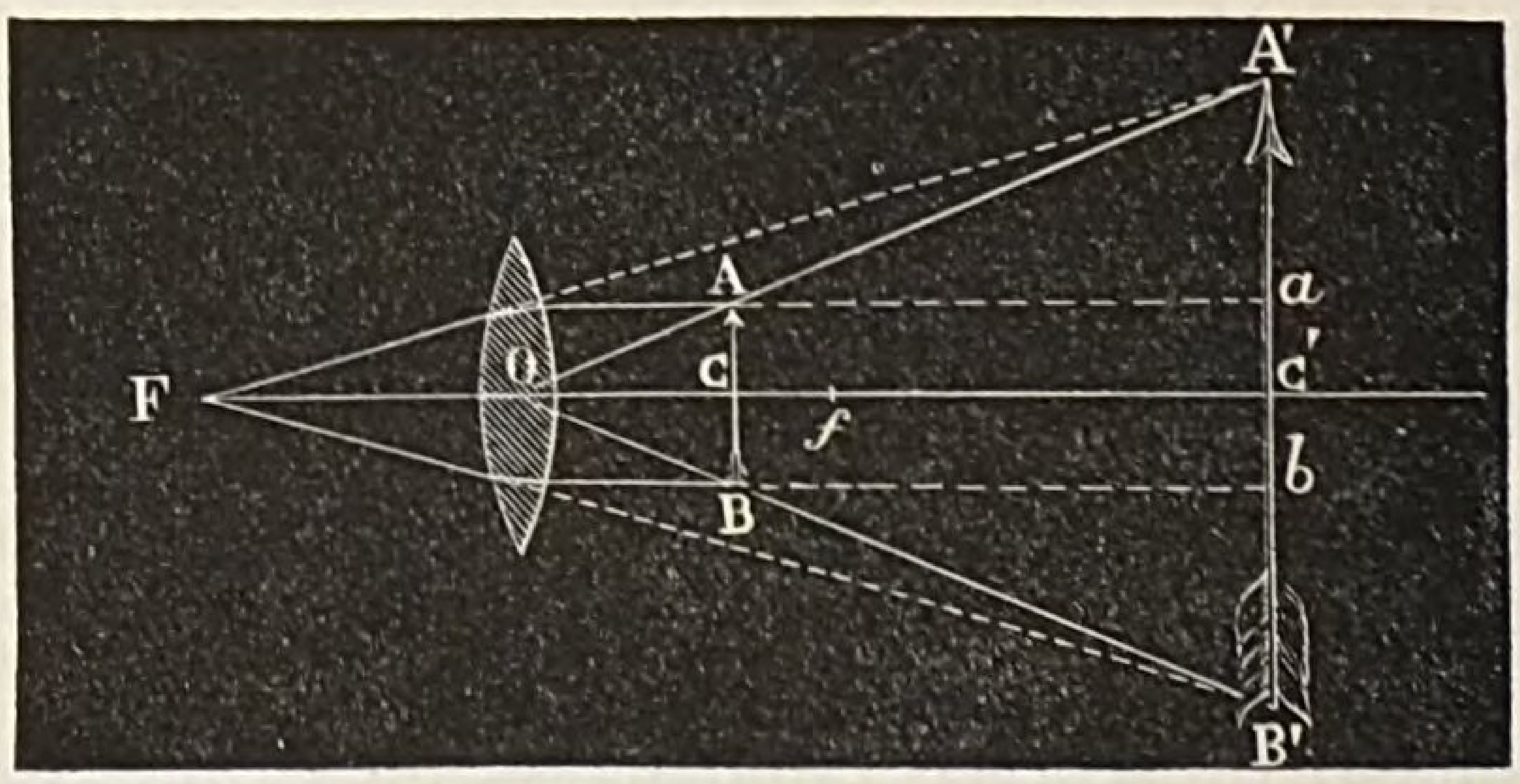


Fig. 162. Gang der Lichtstrahlen in einer Loupe.

in einen Abstand OC von der Loupe O, der etwas geringer ist als die Brennweite Of, und nähert von der anderen Seite das Auge: so sieht man bei richtiger Einstellung das vergrößerte Bild A' B' in der deutlichen Sehweite hinter der Linse. Ueber die Entstehung des Bildes kann man sich leicht eine Vorstellung bilden, wenn man den Weg einiger Strahlen verfolgt, wie in Fig. 162 angedeutet ist: alle Strahlen, welche parallel zur Axe verlaufen, werden durch die Linse nach dem Brennpunkte F hin gebrochen, alle Strahlen dagegen, welche durch den Mittelpunkt O der Linse gehen, werden nicht von ihrer Richtung abgelenkt; die Strahlen, die von A ausgehen, werden also von der Linse so gebrochen und dringen so in unser Auge, als wenn sie von A' ausgegangen wären, und ebenso die Strahlen von B, als kämen sie aus B'.

Denkt man sich nun das Auge dicht an der Loupe anliegend, so sieht man leicht, daß das Bild A′ B′ nur unter demselben Gesichtswinkel erscheint, wie der Gegenstand AB selbst, sodaß man meinen könnte, daß durch die Loupe gar keine Vergrößerung erzielt würde: allein, wenn man die Loupe zwischen Auge und Gegenstand entfernen wollte, so würde von letzterem auf der Netzhaut kein scharfes Bild entstehen, weil er dem Auge viel zu nahe gerückt ist, und man müßte ihn erst wieder in die deutliche Sehweite nach ab versetzen, wo er nun bedeutend kleiner er-

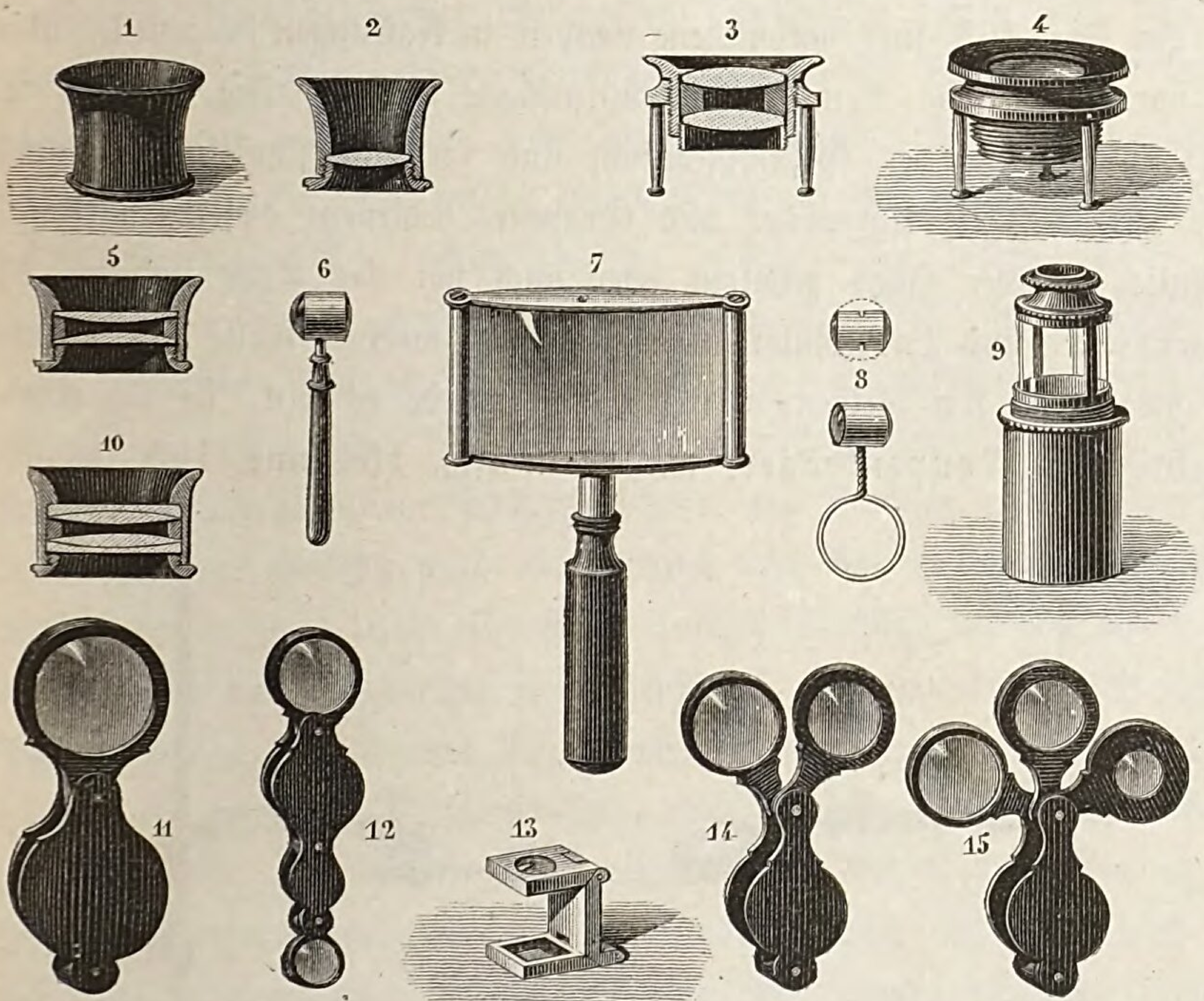


Fig. 163. Verschiedene Loupen.
1. 2. Uhrmacherloupen. — 3. 4. 5. 10. Achromatische Loupen. — 6. Loupe von Stanhope. — 7. Cylinderlinse. — 8. Sphärische Loupe von Brewster oder Coddington. — 9. Körnermikroskop. — 13. Fadenzähler. — 11. 12. 14. 15. Einfache, doppelte und dreifache botanische Loupe.

scheinen würde. So oft also die Länge ab in A′ B′ enthalten ist, sovielmal vergrößert die Loupe: dasselbe Verhältniß besteht aber auch zwischen den Entfernungen OC und OC′, und da OC nahezu mit der Brennweite Of, und OC′ mit der deutlichen Sehweite zusammenfällt, so kann man auch sagen, daß die Loupe sovielemale vergrößert, als ihre Brennweite in der deutlichen Sehweite enthalten ist; je kürzer also die Brennweite, d. h. je stärker gewölbt die Loupe ist, um so stärker ver-

größert sie. Wollte man den Gegenstand noch näher an die Loupe heranbringen, so würde die Vergrößerung noch bedeutender werden, zugleich würde aber auch das Bild A' B' näher heranrücken und dadurch an Schärfe verlieren, weil es dem Auge näher liegt, als die deutliche Sehweite beträgt; entfernt man den Gegenstand, so entfernt sich auch sein Bild und verschwimmt vollständig, wenn der Gegenstand bis in den Brennpunkt gelangt ist. Statt einer Loupe von sehr starker Krümmung, wendet man auch mehrere Loupen an, die dicht hinter einander gehalten werden, sodaß man durch ihre ganze Reihe den Gegenstand erblickt.

In Fig. 163 sind verschiedene Loupen in Fassungen dargestellt, über die wir noch einige Bemerkungen hinzufügen wollen. Fig. 163, 1. 2. stellt zunächst in der Gesammtansicht und im Querschnitte die Loupe dar, deren sich die Uhrmacher und Graveure bedienen: dieselbe wird gewöhnlich mit der Hand gehalten oder auch vor das Auge zwischen die Augenbrauen und Backenmuskeln geklemmt, in welchem Falle beide Hände für die Arbeit frei bleiben; vortheilhafter würde es sein, sie an einem Stative oder Loupenträger, wie er in Fig. 164 und 165 in zwei

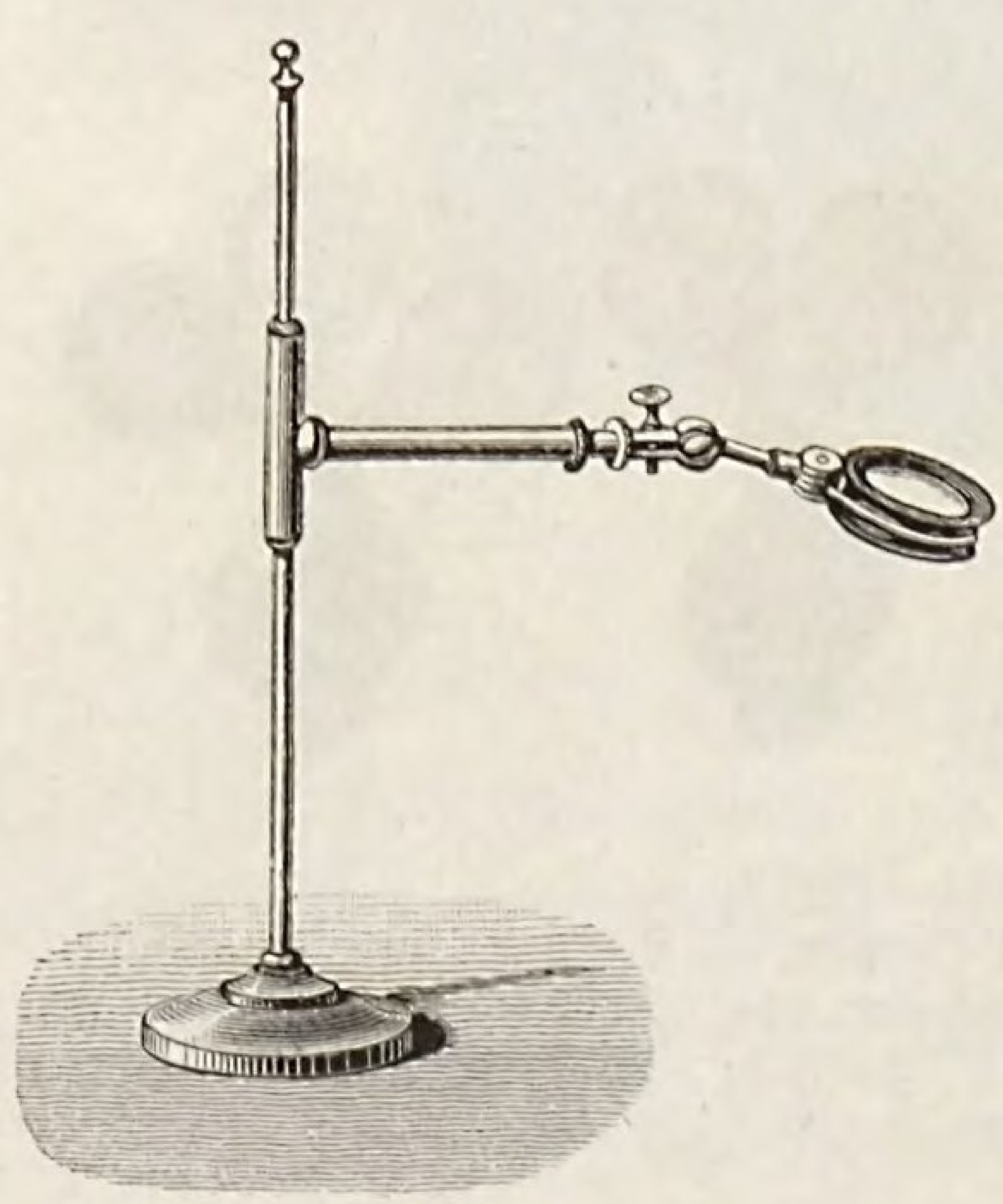


Fig. 164. Loupenträger.

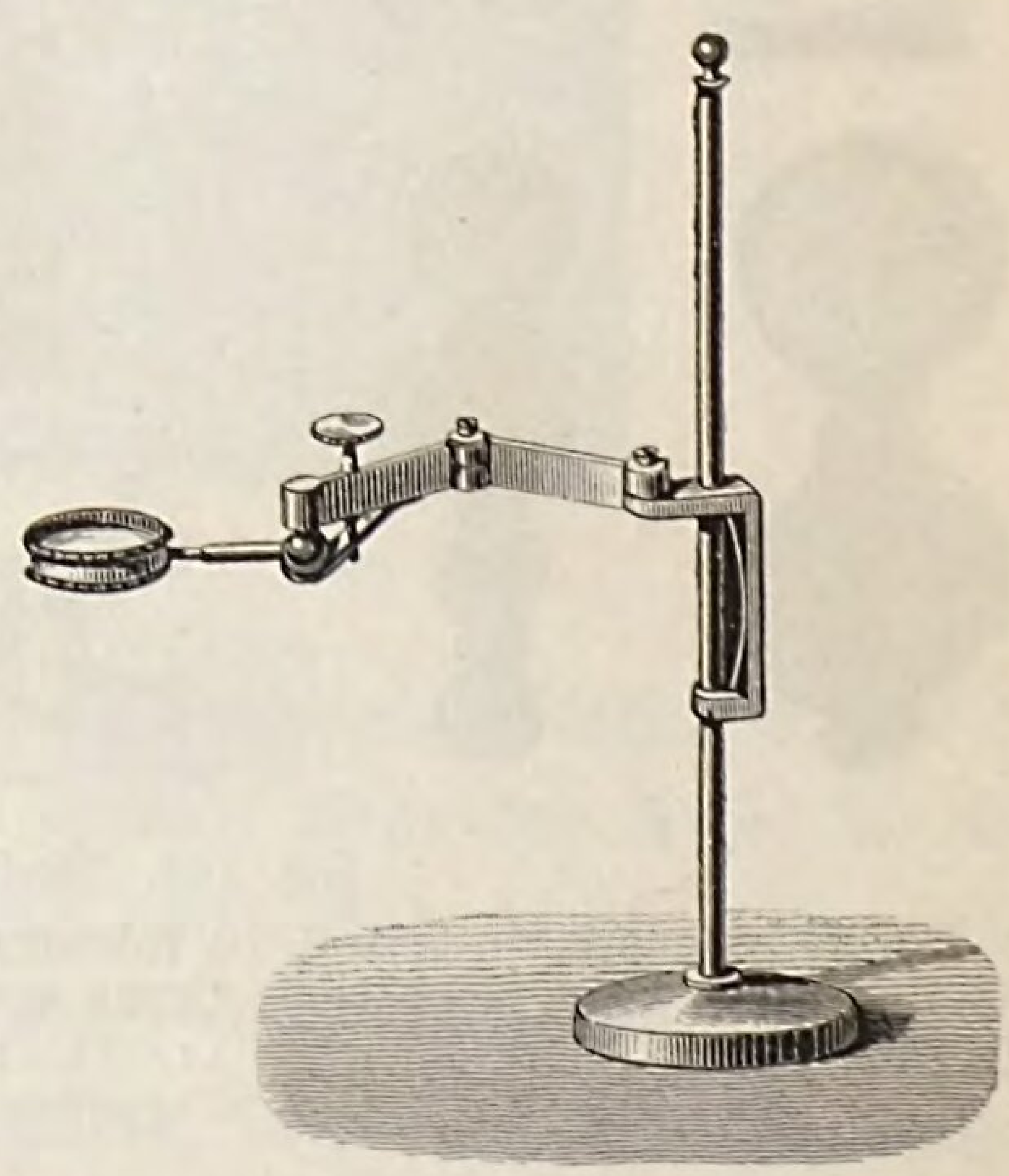


Fig. 165. Loupenträger.

verschiedenen Formen dargestellt ist, zu befestigen. Diese Loupen vergrößern gewöhnlich nicht sehr bedeutend, und in den meisten Fällen begnügt man sich mit höchstens fünffacher Vergrößerung. Bei diesen Gläsern zeigt sich ein Fehler, den wir bei Gelegenheit der Fresnellinse gesprochen haben, häufig ziemlich stark, nämlich die sphärische Ab-

weichung: betrachtet man nämlich durch dieselben Gegenstände von einiger Ausdehnung, so erscheint nur der Theil derselben, den man durch die Mitte der Loupe erblickte, in seiner richtigen Gestalt, während die nach dem Rande hin sichtbaren Partien verzerrt und verschwommen erscheinen. Aber auch ein zweiter Fehler, die chromatische Abweichung, welche daher rührt, daß bei der Brechung das weiße Licht in seine einzelnen Farben aufgelöst wird, macht sich bei diesen Loupen vielfach geltend, indem die Bilder der Gegenstände mit farbigen Rändern umgeben erscheinen. Diese Uebelstände aber werden dadurch aufgewogen, daß diese Gläser ein ziemlich großes Gesichtsfeld überblicken lassen und daß bei dem verhältnißmäßig großen Abstande, in dem die Loupe vom Gegenstande gehalten werden kann, noch genügender Raum frei bleibt, in welchem sich die Werkzeuge, mit denen die Arbeiten an den Gegenständen ausgeführt werden sollen, leicht bewegen lassen. Die beiden Fehler der sphärischen und der chromatischen Abweichung lassen sich dadurch ein wenig verbessern, daß man an der Loupe eine undurchsichtige, ringförmige Blende, ein sogenanntes Diaphragma anbringt, durch das die Randstrahlen, welche in ihrem Verlaufe immer am stärksten abweichen, abgehalten werden: zugleich wird aber freilich auch das Gesichtsfeld hierdurch verkleinert; in Fig. 163, 15. ist ein solches Diaphragma vor die Loupe, die am weitesten nach Rechts steht, geschoben. Zu naturwissenschaftlichen Untersuchungen bedient man sich gewöhnlich der Loupen, die in Fig. 163, 11. 12. 14. und 15. dargestellt sind: man befestigt häufig deren mehrere von ungleicher Brennweite und mithin verschiedener Vergrößerung in derselben Fassung und wendet sie entweder einzeln an, oder auch so, daß man die Gegenstände durch zwei oder drei Loupen, die über einander liegen, zugleich erblickt.

Will man sowohl die sphärische, als auch die chromatische Abweichung aufheben, so muß man die Loupe aus mehreren Linsen zusammensetzen, die aus verschiedenen Glassorten gebildet sind; ein solches System von Linsen, von dem wir später bei Gelegenheit der Fernrohre ausführlicher sprechen werden, bei dem die chromatische Abweichung vermieden ist, heißt eine achromatische Linse: sind aber die Krümmungen der Kugelflächen so berechnet, daß auch die sphärische Aberration verschwindet, so nennt man sie eine aplanatische Linse. Fig. 163, 3. 4. 5. und 10. stellt solche Linsen im Durchschnitte dar.

Die sphärische Loupe von Brewster oder Coddington (Fig. 163, 8) besteht aus einem Glascylinder, dessen gegenüberstehenden Grenzflächen Theile einer und derselben Kugeloberfläche sind: in der Mitte ist aber in den Cylinder rings herum eine Furche eingeschliffen, welche die Stelle eines Diaphragma vertritt; die Vergrößerung, die man mit dieser Loupe erreichen kann, läßt sich bis auf das Dreißigfache steigern. Aehnlich eingerichtet ist die Loupe von Stanhope (Fig. 163, 6), nur sind bei ihr die Grenzflächen ungleich stark gekrümmt: will man mit derselben durchsichtige Gegenstände untersuchen, wie z. B. den Blüthenstaub der Pflanzen oder die Schuppen der Schmetterlingsflügel, so befestigt man diese an der weniger stark gekrümmten Fläche und blickt von der anderen Seite durch den Cylinder, den man dem Lichte zukehrt: man kann bis zu vierzigfacher Vergrößerung durch diese Loupen erreichen.

Unter einem einfachen Mikroskope (Fig. 166), versteht man ein

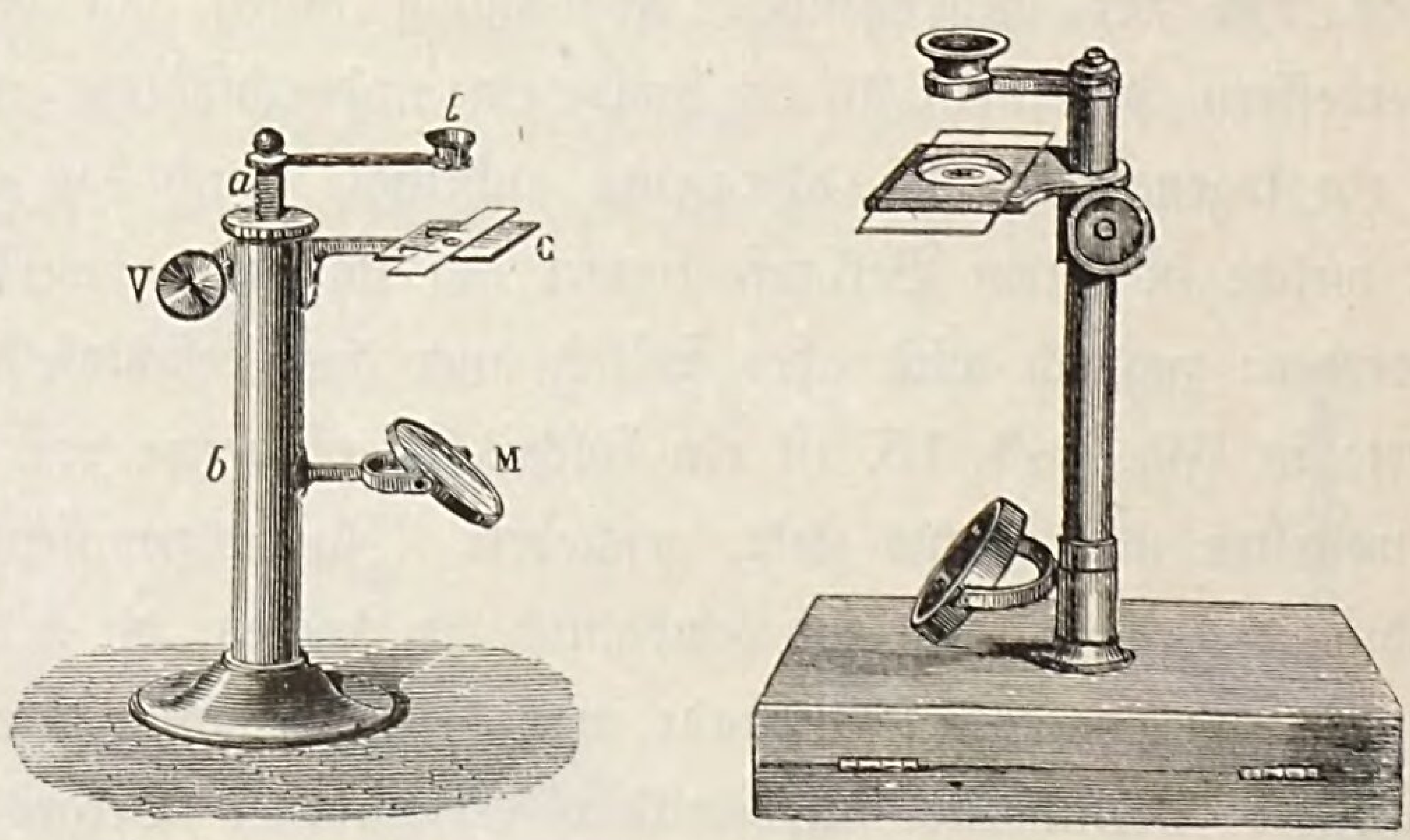


Fig. 166 Einfache Mikroskope.

Stativ, an welchem eine einfache oder zusammengesetzte Loupe und unterhalb derselben der Objectträger befestigt ist, einer Platte, die zur Aufnahme der Gegenstände, welche untersucht werden sollten, bestimmt ist. Der Objectträger ist in seiner Mitte durchbohrt und über diese Oeffnung wird ein Glasstreifen gelegt, auf welchem sich der zu untersuchende Gegenstand befindet; das nöthige Licht aber wird dem Gegenstande gewöhnlich durch einen Hohlspiegel, der sich unter ihm befindet, oder auch durch eine seitwärts angebrachte, schräg gestellte Beleuchtungslinse zugeführt. Die genaue Einstellung der Loupe, infolge deren das Bild des Gegenstandes in der deutlichen Sehweite erscheint, wird durch ein Zahnrad, das in eine

Zahnstange eingreift und selbst durch einen Knopf gedreht wird, bewirkt; häufig sind auch noch Vorrichtungen angebracht, durch welche die Loupe zur Seite gedreht und geneigt werden kann, und hierdurch ist es möglich, die Gegenstände von den verschiedensten Seiten her zu betrachten.

An Stelle einer einfachen Loupe bringt man bei diesem Apparate

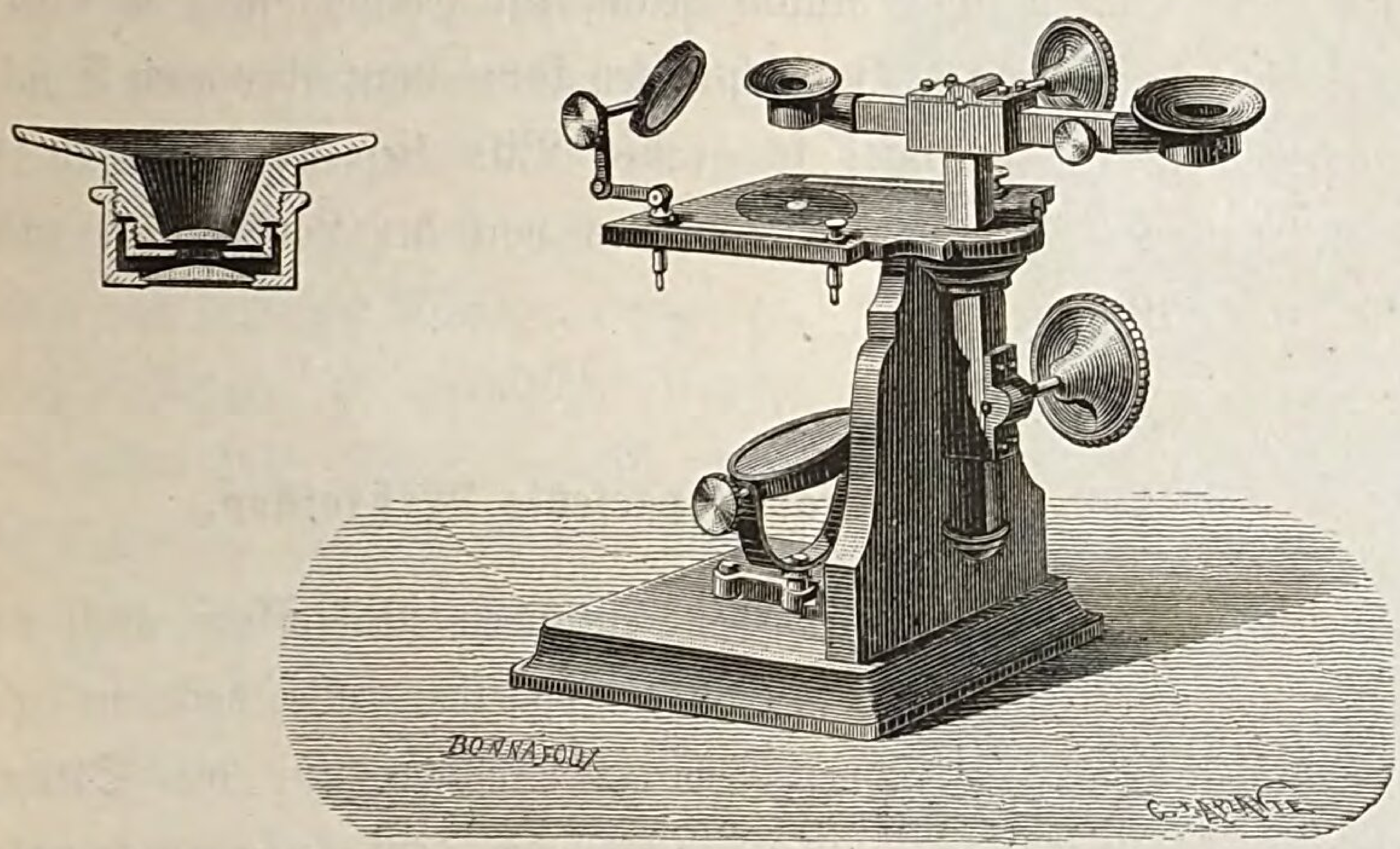


Fig. 167. Einfaches Mikroskop mit Doubletten: Wollaston's Doublette, verbessert durch Chevalier.

häufig eine aus zwei Gläsern zusammengesetzte Linse, die Doublette von Wollaston an, welche aus zwei Planconvexlinsen besteht, die durch ein Diaphragma von einander getrennt sind: bei dieser Linse ist die sphärische und die chromatische Abweichung sehr vermindert. Fig. 167 zeigt ein einfaches Mikroskop mit zwei Doubletten, von denen je nach Bedürfniß die eine oder andere zur Anwendung kommt; zugleich ist auch der Durchschnitt einer Doublette in der Einrichtung, die ihr Chevalier gegeben hat, dargestellt. Endlich kann man auch beim einfachen Mikroskope mehrere Loupen über einander aufstellen (Fig. 168) und dadurch stärkere Vergrößerungen erzielen.

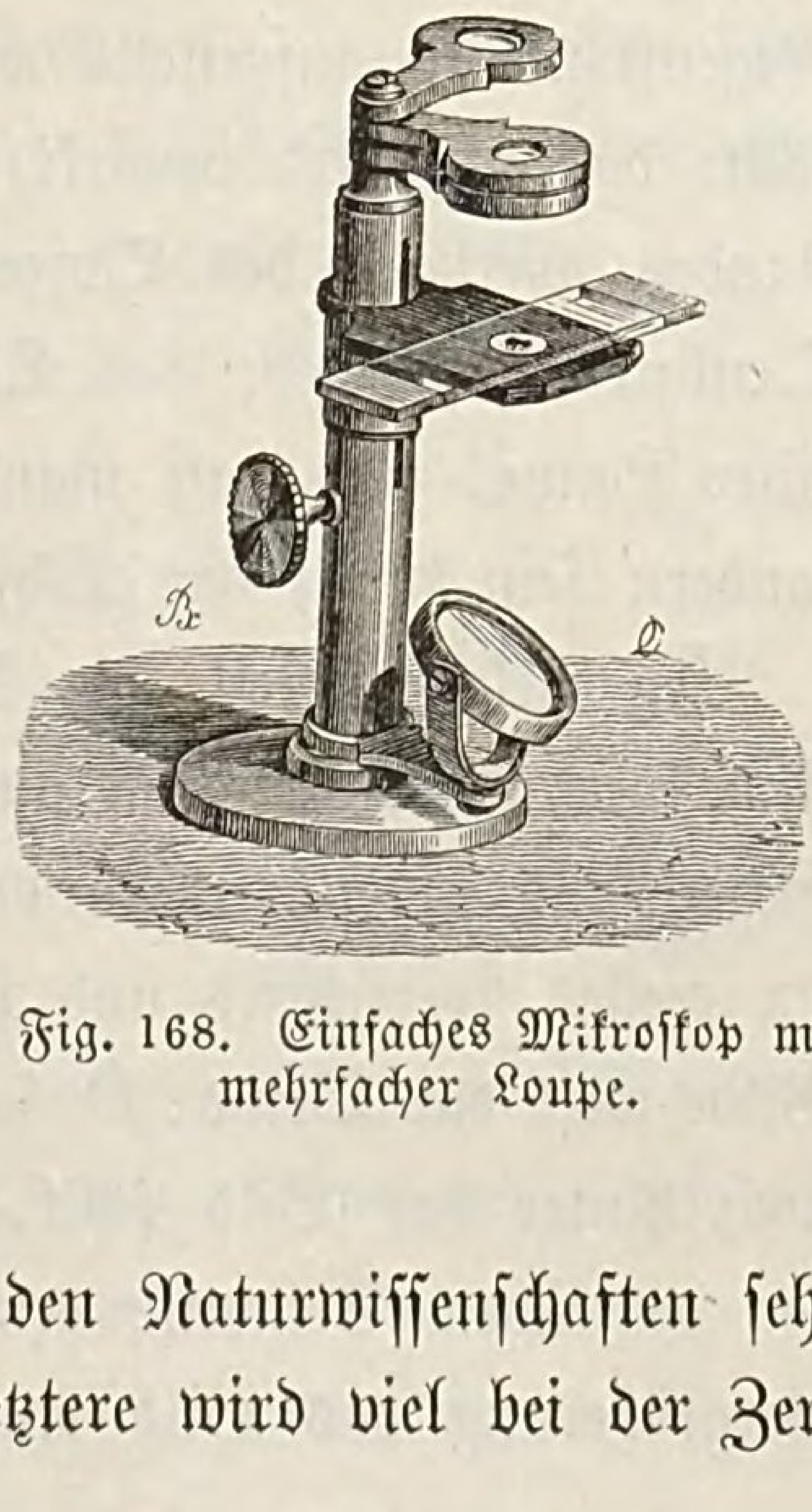


Fig. 168. Einfaches Mikroskop mit mehrfacher Loupe.

Loupe und einfaches Mikroskop haben den Naturwissenschaften sehr große Dienste geleistet, und besonders das letztere wird viel bei der Zer-

gliederung und Untersuchung der Pflanzen verwendet, während der Zoolog bei der Untersuchung der Gewebe des Thierkörpers lieber das zusammengesetzte Mikroskop anwendet. Bei dieser Anwendung der Loupe überschreitet man selten die sechzigfache Vergrößerung, weil bei stärkerer Vergrößerung der Brennpunkt so nahe an die Linse heranrückt, daß zwischen ihr und dem Objecte nicht Raum genug zur Handhabung der Werkzeuge übrig bleibt: bei einzelnen Beobachtungen kann man aber auch Doubletten gebrauchen, die ein 500mal so großes Bild liefern; allein in diesem Falle beträgt der Abstand des Objectes von der Loupe noch nicht die Hälfte eines Millimeters.

§ 2. Das zusammengesetzte Mikroskop.

Wenn bei der Loupe oder dem einfachen Mikroskope auch mehrere Linsen angewendet werden, so wirken dieselben alle doch in gleichem Sinne, sodaß das aus ihnen gebildete System nur die Stelle einer einzigen stärker brechenden Linse vertritt: bei dem zusammengesetzten Mikroskope dagegen finden wir in einem Rohre vereinigt zwei ganz verschieden wirkende Linsen oder Linsensysteme, von denen das eine, das Objectiv, sich auf der Seite des zu beobachtenden Gegenstandes, das andere, das Ocular, sich vor dem Auge des Beobachters befindet. Das Objectiv ist eine Convexlinse von kurzer Brennweite, unter welcher der Gegenstand so aufgestellt wird, daß er noch jenseits des Brennpunktes fällt: dadurch wird bewirkt, daß ein reelles, verkehrtes Bild des Gegenstandes oberhalb des Objectives entsteht, welches man mit Hilfe des Oculares betrachtet; das Ocular verrichtet also vollständig die Dienste einer Loupe, nur daß man durch dasselbe nicht den Gegenstand selbst, sondern sein durch das Objectiv hervorgerufenes Bild betrachtet.

In welcher Weise die Strahlen bei dem zusammengesetzten Mikroskope verlaufen, läßt sich aus Fig. 169 erkennen: wir sehen den kleinen Gegenstand ab unterhalb des Objectives O aufgestellt, welches von ihm ein reelles, verkehrtes und schon vergrößertes Bild $a_1 b_1$ erzeugt; diesem Bilde wird das Ocular O′ so weit genähert, daß der Brennpunkt desselben noch hinter das Bild fällt, sodaß das Auge jenes Bild vergrößert in der deutlichen Sehweite erblickt. Man sieht daß auch bei der letzten Vergrößerung das Bild ein verkehrtes bleibt: will man also mit dem

Mikroskope arbeiten, so muß man sich an diesen Umstand erst sehr gewöhnen.

Wie bei der einfachen Loupe, so treten dieselben Fehler, die wir dort erwähnten, nämlich die sphärische und die chromatische Abweichung, auch beim zusammengesetzten Mikroskope, und zwar in noch höherem Maße hervor; und besonders der letzte Uebelstand macht sich bei älteren Instrumenten in sehr unangenehmer Weise dadurch geltend, daß die Bilder mit farbigen Rändern erscheinen. Um diesen Fehler zu vermeiden wendet man bei guten Mikroskopen zunächst achromatische Objective (Fig. 170) an: Linsen, die aus zwei Theilen bestehen, einer Convexlinse A aus einer reinen Glassorte ohne besonderen Zusatz, sogenanntem Crownglase, und einer Concavlinse B aus sogenanntem Flintglase, einem Glase, dem Bleioxyd zugesetzt ist. Doch wenn hierdurch auch bewirkt wird, daß das vom Objective erzeugte Bild a_1 b_1 ohne farbige Ränder erscheint, so ist doch die Brechung durch

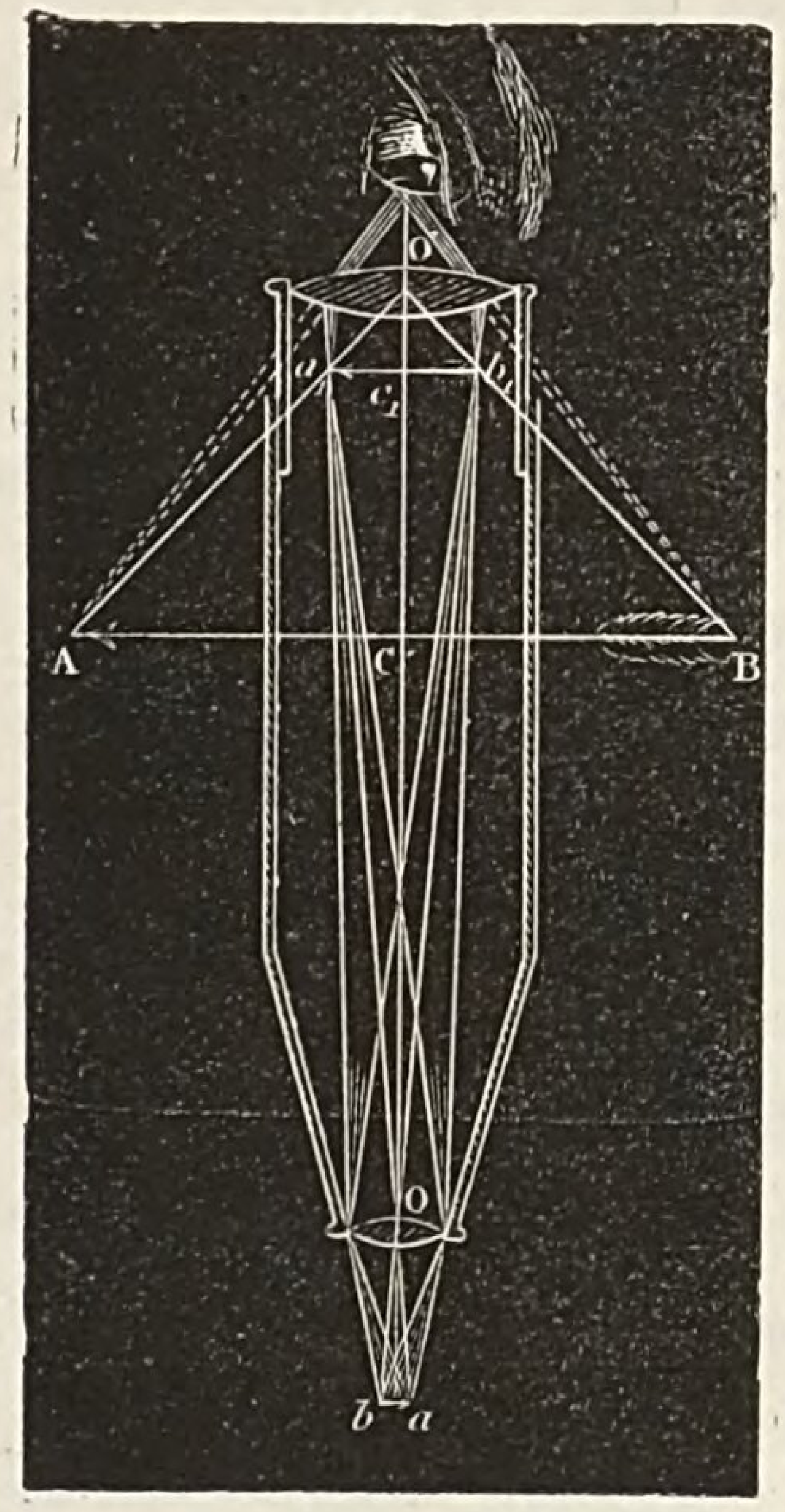


Fig. 169. Verlauf der Lichtstrahlen im zusammengesetzten Mikroskope.

das Ocular eine neue Quelle der Farbenzerstreuung. Einigermaßen kann man schon dadurch etwas helfen, daß man in das Rohr an der Stelle, wo das Bild a_1 b_1 entsteht, ein Diaphragma einsetzt, welches die Randstrahlen abhält: allein dadurch wird das Gesichtsfeld verkleinert und die Lichtstärke vermindert, und so empfiehlt es sich weit mehr diesen Fehler durch Einfügung einer neuen Linse, der Campani'schen Collectivlinse zu verbessern. Campani's Collectivlinse ist eine planconvexe Linse, deren Brennweite etwa dreimal so groß ist, als die des Oculars: sie wird im Rohre an eine Stelle eingesetzt, an welcher sich die Strahlen, die vom Objective kommen, noch nicht zum Bilde vereinigt haben, sodaß dieselben zu noch stärkerer Convergenz gebracht werden und sich somit zeitiger zum Bilde vereinigen. Wenn also z. B. ohne Collectivlinse das Bild in AB (Fig. 171) entstehen würde, so

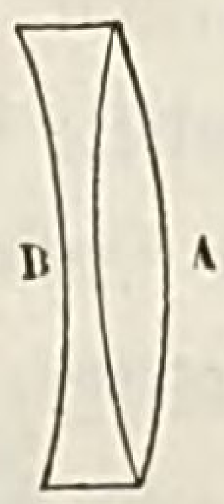


Fig. 170. Achromatisches Objectiv.

werden durch die Linse LL die Strahlen noch einmal so gebrochen, daß das Bild schon in ab zu Stande kommt; allein da die verschiedenen Farben,

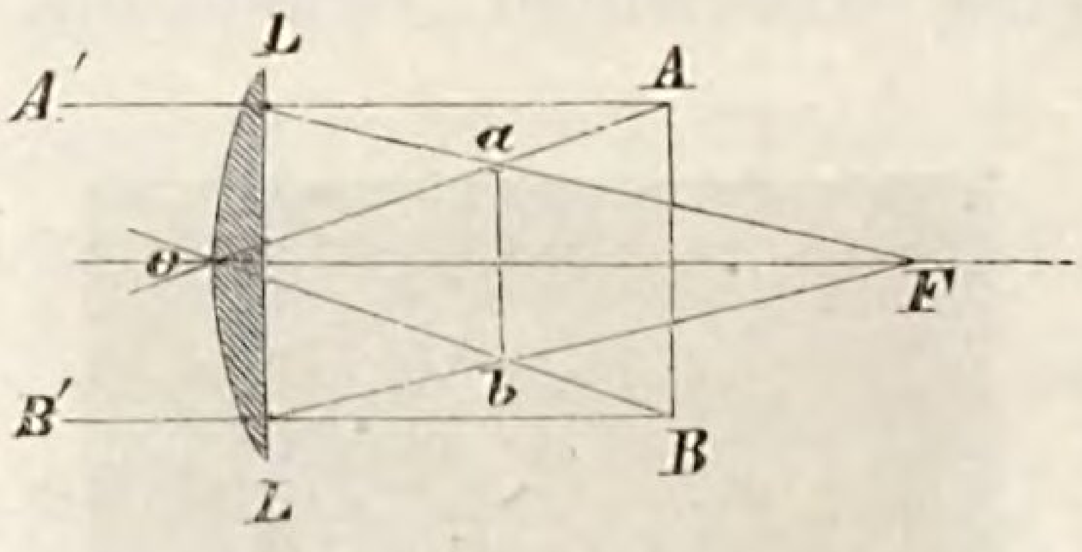


Fig. 171. Campani's Collectivlinse.

aus denen das weiße Licht besteht, verschieden stark gebrochen werden, so entstehen streng genommen so viele Bilder, als es Farben giebt, und diese befinden sich alle in verschiedenem Abstande von der Linse; das violette Bild liegt ihr am nächsten und ist am kleinsten, weil die violetten Strahlen die stärkste Brechung erleiden, wogegen das rothe am größten ist und am weitesten von der Linse entfernt liegt. Stelle ab (Fig. 172) nun das rothe,

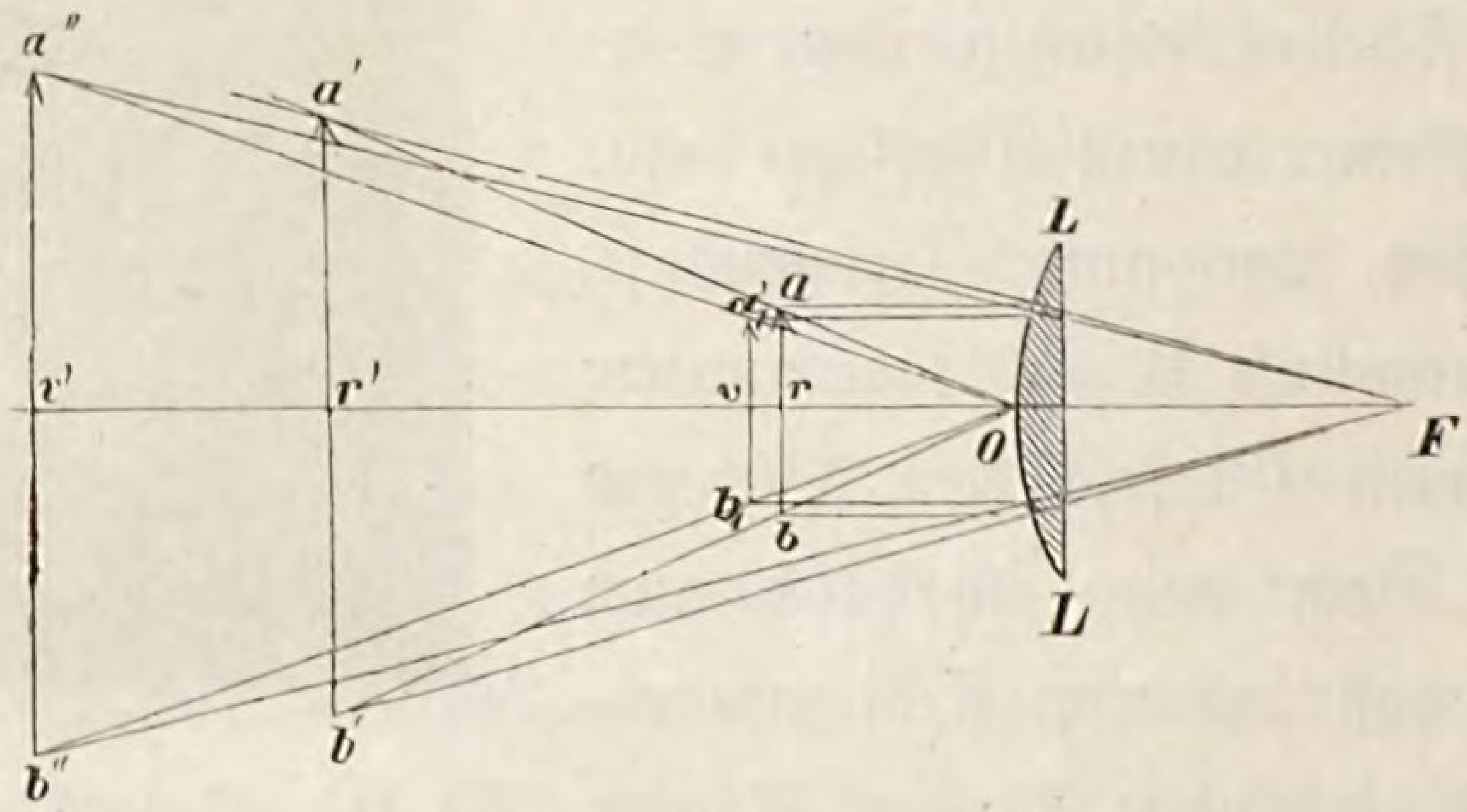


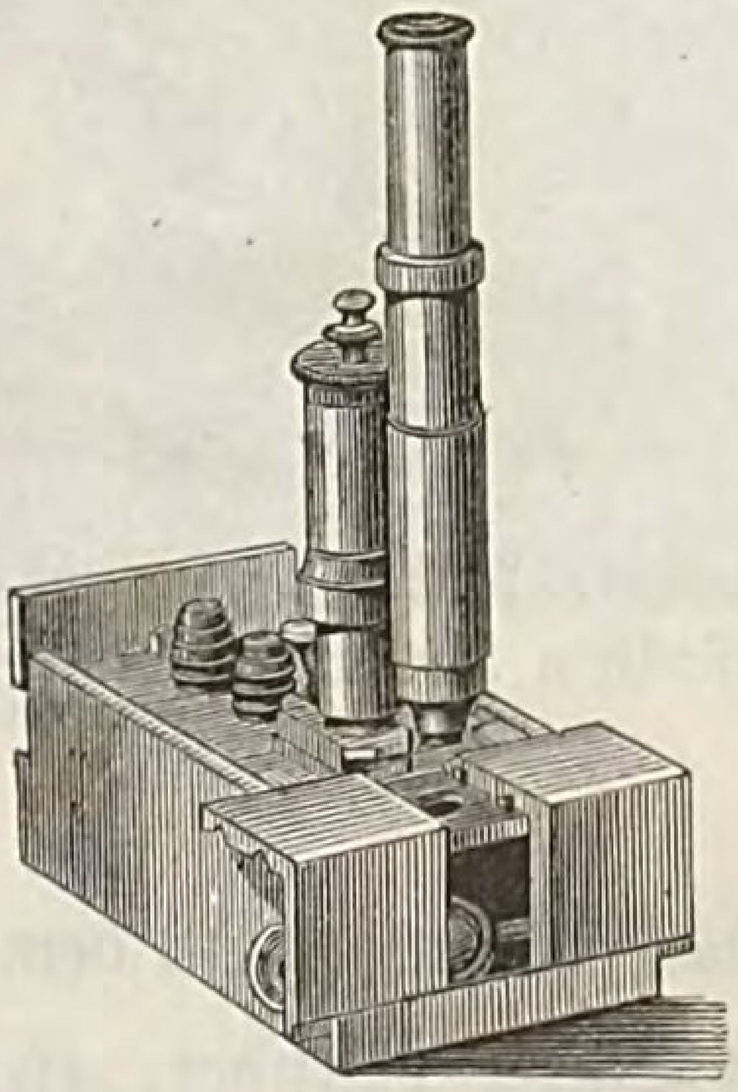
Fig. 172. Vereinigung der durch Campani's Collectivlinse erzeugten farbigen Bilder durch das Ocular.

a, b, das violette Bild dar, und betrachtet man nun beide durch das Ocular LL, so erscheint für das Auge das rothe Bild in a' b', das violette in a'' b'', und es wird nach einigen Versuchen immer gelingen die Linsen so einzustellen, daß für das Auge das rothe Bild mit dem violetten zur Deckung gelangt und dadurch das Bild in der natürlichen Farbe des Gegenstandes erscheint.

Will man die Vergrößerung wissen, welche das zusammengesetzte Mikroskop giebt, so muß man die Vergrößerung durch das Objectiv mit der Vergrößerung durch das Ocular multiplicieren: erstere erhält man, wenn man den Abstand zwischen Objectiv und Ocular oder die Länge des Rohres durch die Brennweite des Objectivs, letztere, wenn man die deutliche Sehweite durch die Brennweite des Oculars dividiert; ist z. B. die Vergrößerung durch das Objectiv 20fach, durch das Ocular 5fach,

so ist die Vergrößerung des Mikroskopes 100fach. Selbstverständlich rechnet man hierbei immer nur die lineare Vergrößerung oder die Vergrößerung des Durchmessers; will man wissen, in welchem Maße die Flächen wachsen, so muß man die Zahlen der linearen Vergrößerung mit sich selbst multiplicieren: ist die lineare Vergrößerung 50, 100 oder 500fach, so wachsen die Flächen im Maßstabe 2500, 10000, 250000. Nach Chevalier theilt man die optischen Systeme der zusammengesetzten Mikroskope je nach der Vergrößerung in neun Serien, von denen die erste mit 25 bis 50facher Vergrößerung beginnt, die neunte mit 600 bis 1300facher Vergrößerung schließt: bei letzterer Vergrößerung wachsen also die Flächen auf das 1690000fache.

Beobachtungen und Untersuchungen mit dem Mikroskope anzustellen ist, besonders wenn man stärkere Vergrößerung anwendet, nicht so leicht und erfordert eine besondere Geschicklichkeit, die nur durch längere Uebung erlangt werden kann: ja selbst das Auge muß erst dazu förmlich erzogen werden, daß es die Gegenstände scharf erblickt und längere Zeit mit Ruhe zu beobachten im Stande ist; wer mit dem Mikroskope zu beobachten lernen will, muß immer erst seine Studien mit schwächeren Vergrößerungen beginnen und nur allmählich zu stärkeren Vergrößerungen aufsteigen. Auch muß man wohl beachten, daß sich das Licht, das von dem zu beobachtenden Gegenstande ausgeht und ihn überhaupt erst sichtbar macht, scheinbar über eine umso größere Fläche ausbreiten muß, je stärkere Vergrößerung man anwendet, und daß man in diesem Falle dafür zu sorgen hat, daß die Beleuchtung des Gegenstandes eine sehr intensive ist.


Fig. 173. Zusammengesetztes Mikroskop.

Objectiv, Collectiv und Ocular sind in einem Rohre eingeschlossen, das an einem Stative befestigt ist und mittels Schraube oder Zahnstange gehoben und gesenkt werden kann: unter diesem Rohre befindet sich der Objectträger, eine Platte, in der eine oder mehrere kreisrunde Oeffnungen eingebohrt sind, über welche die Glasstreifen mit den zu untersuchenden Gegenständen hinweggelegt werden; endlich sehen wir unter der Platte noch einen Hohlspiegel, welcher das

Licht von Unten her nach dem Objecte hin reflectiert und daselbst concentriert. Ist der Gegenstand, den man betrachten will, undurchsichtig, so beleuchtet man ihn von Oben her mittels einer Linse, welche seitlich angebracht ist und durch mehrere Gelenke in verschiedene Stellungen gebracht werden kann.

Bei den meisten Mikroskopen steht das Rohr aufrecht (Fig. 173): doch hat man auch Instrumente construiert, bei denen das Rohr in eine geneigte Stellung gebracht werden kann (Fig. 174), sowie solche, bei denen es unter einem rechten Winkel geknickt ist (Fig. 175), sodaß

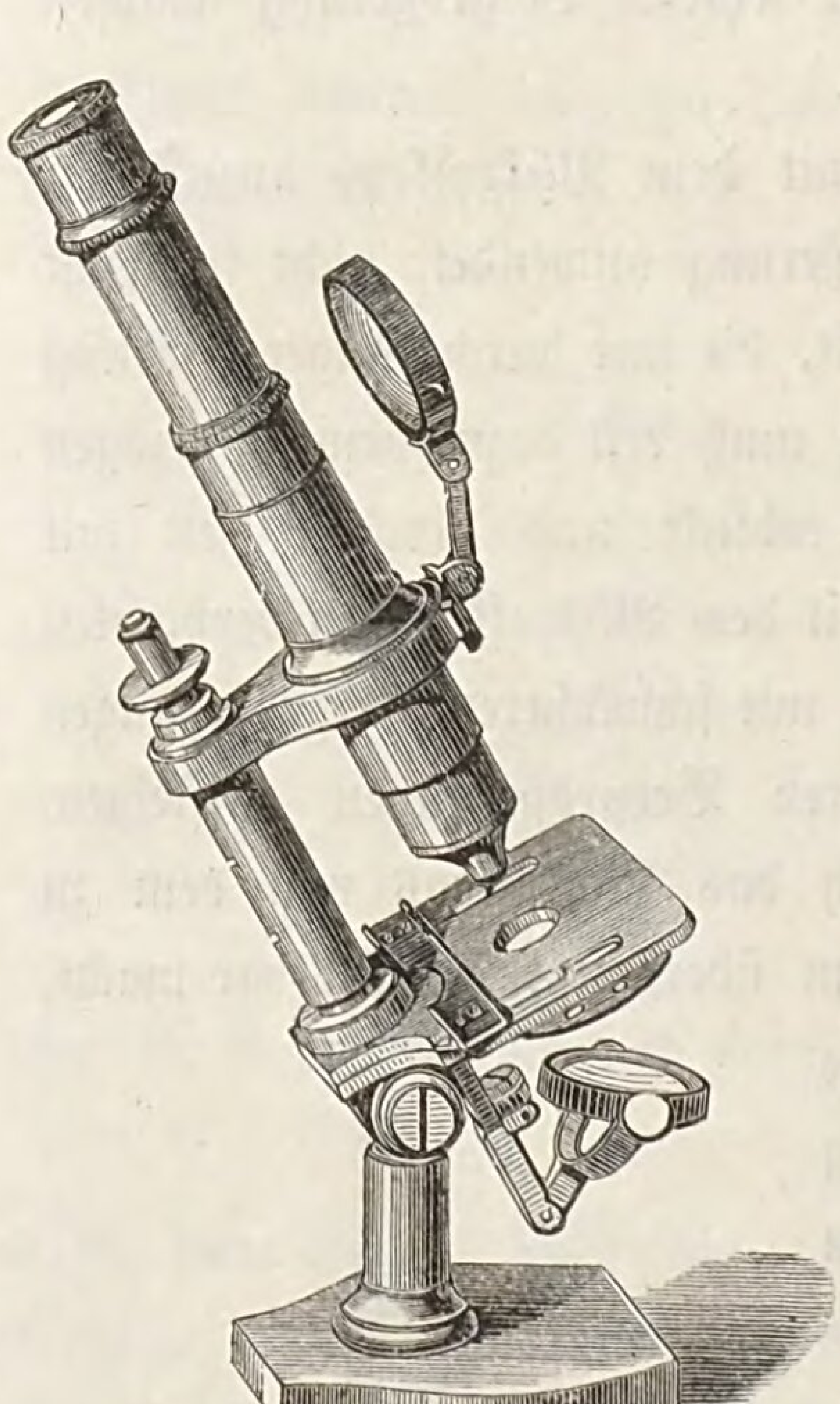


Fig. 174. Mikroskop mit schräggestelltem Rohre von Nachet.

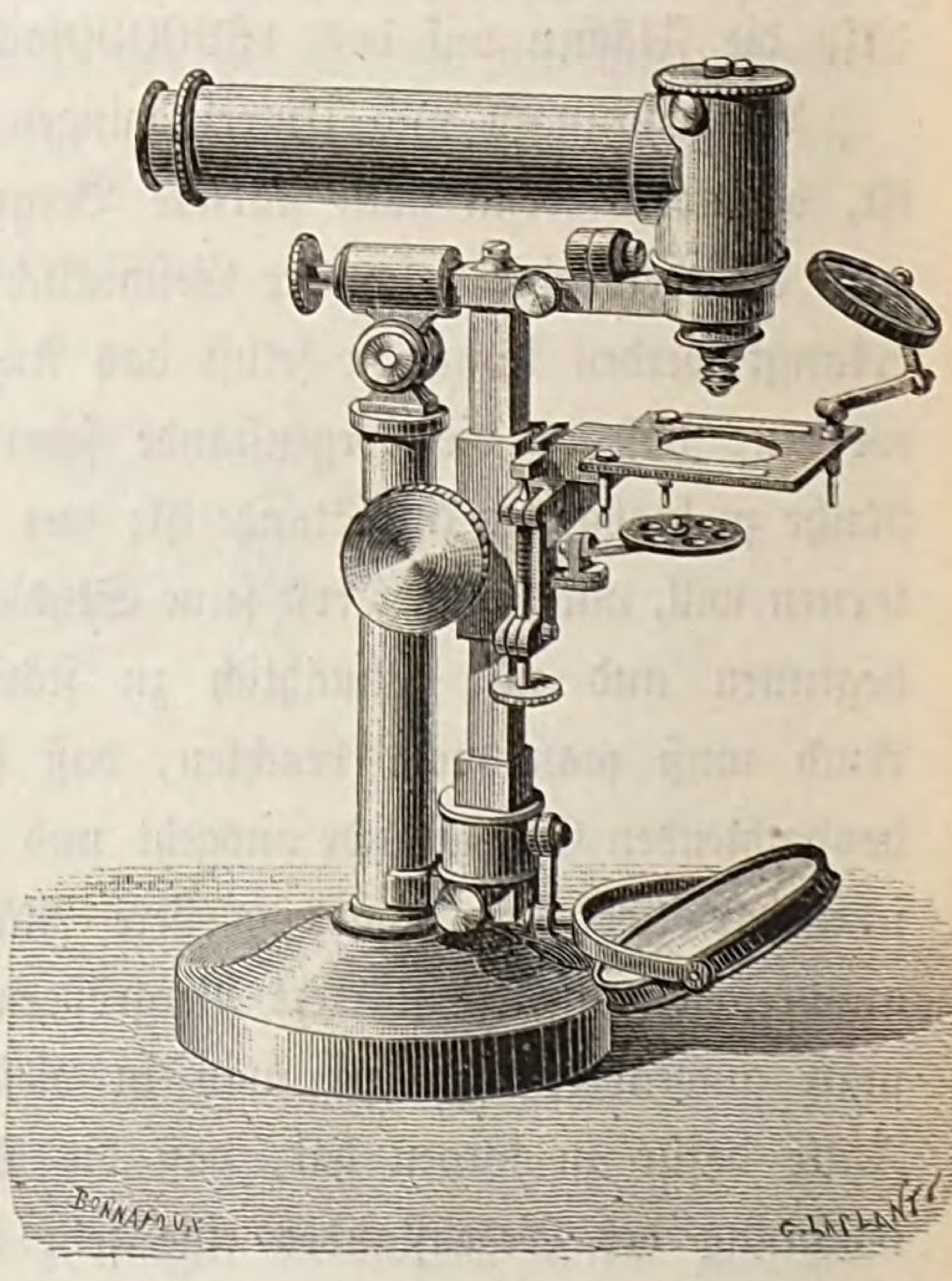


Fig. 175. Mikroskop mit horizontalem Rohre von Amici.

sich das Objectiv an dem aufrechtstehenden, das Ocular an dem horizontalen Theile befindet; in der Biegung selbst aber liegt ein unter 45° geneigter Spiegel, oder besser noch ein Prisma, dessen Querschnitt ein rechtwinkliges gleichschenkliges Dreieck ist, an dessen Rückwand die Strahlen totale Reflexion erleiden.

Um die Möglichkeit zu geben, daß ein und derselbe Gegenstand gleichzeitig von mehreren Beobachtern gesehen werde, hat Nachet Mikroskope

construiert, bei denen zwar nur ein Objectiv vorhanden ist, während die Zahl der Oculare drei beträgt, deren jedes in einem besonderen Rohre eingeschlossen ist (Fig. 176): das von dem Objective kommende Licht wird durch Prismen in die drei Ocularrohre hineingelenkt. Derselbe Optiker hat ferner doppelte Mikroskope (Fig. 177) construiert, in welche man gleichzeitig mit beiden Augen blickt und in denen sich für jedes Auge der Gegenstand in einer etwas veränderten Stellung zeigt,

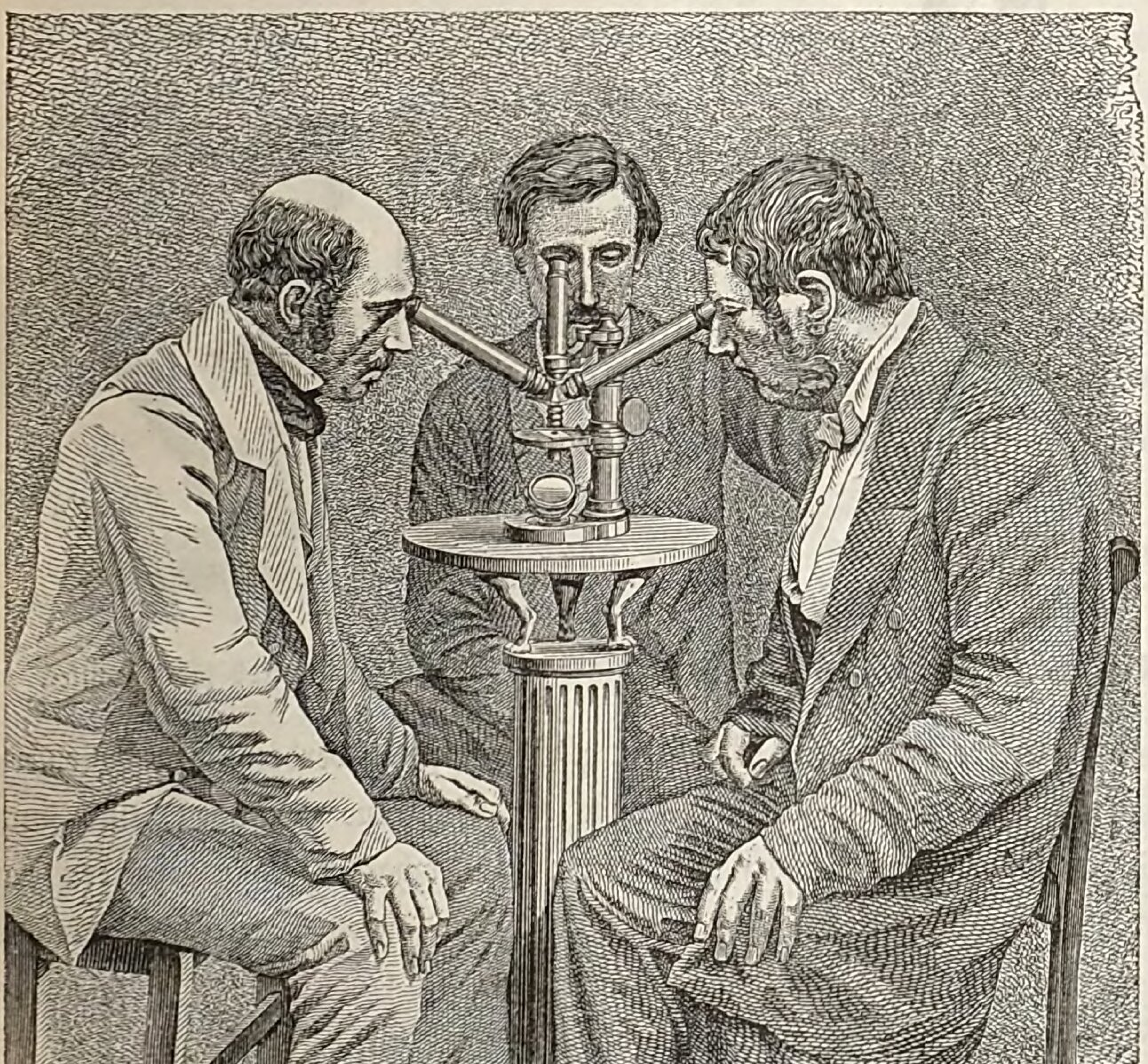


Fig. 176. Mikroskop mit drei Rohren.

sodaß man ihn wie beim Stereoskope, von dem wir bald sprechen werden, als Körper sieht. Endlich wenden die Chemiker bei der Untersuchung der Stoffe, die sich aus Lösungen ausscheiden, Mikroskope an, bei denen der Objectträger über dem Objective liegt (Fig. 178): das Licht geht bei denselben nach der Brechung durch das Objectiv zunächst nach Unten, wird dort aber in ein schräg gestelltes Rohr reflectiert, an dessen Ende sich das Ocular befindet.

Welche Dienste das Mikroskop der Wissenschaft geleistet hat, welche ungeheure Zahl von Entdeckungen im Bereiche der Anatomie und Physiologie, der Zoologie und Botanik, der Chemie und Mineralogie durch dieses Instrument überhaupt nur gemacht werden konnten, wie man sich

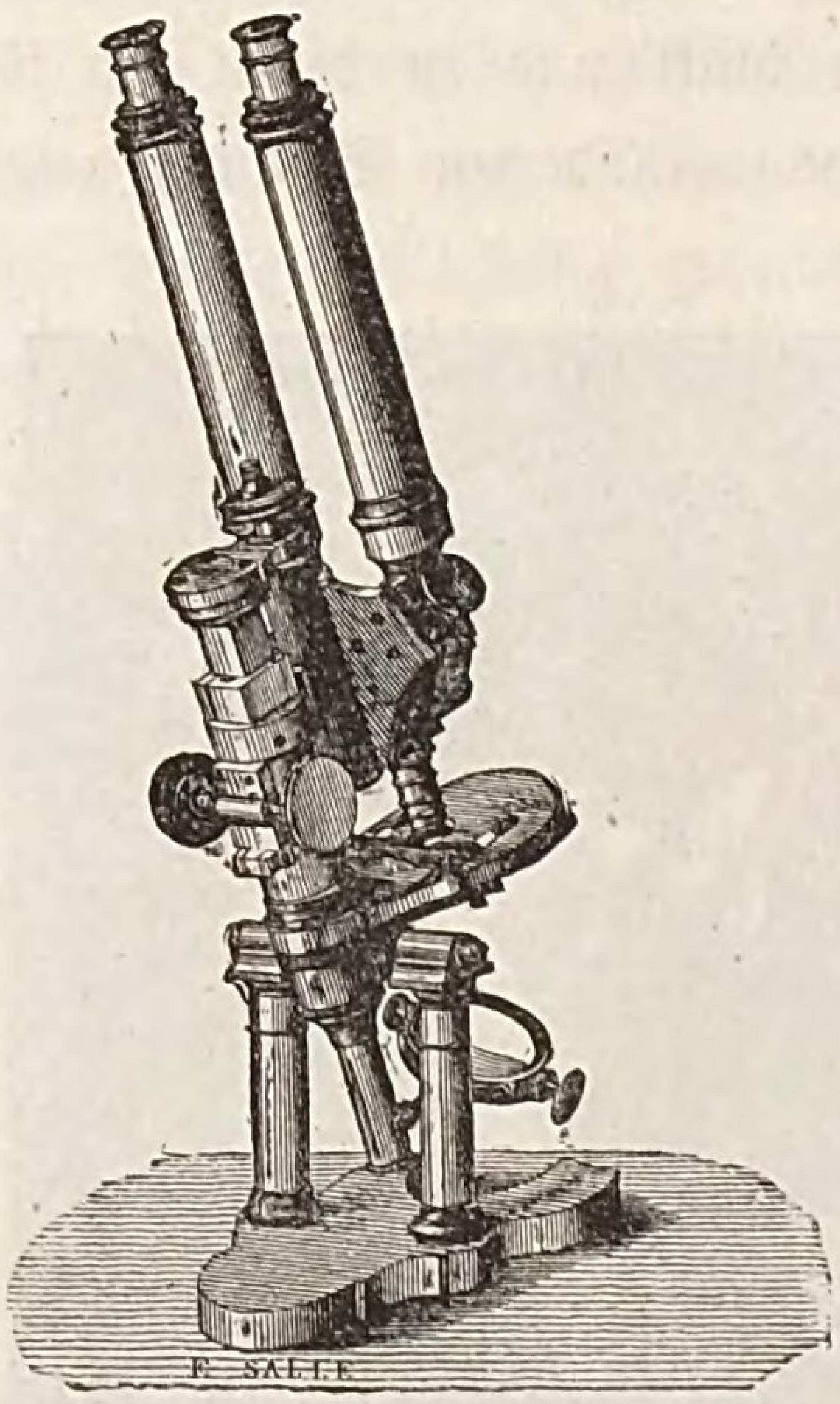


Fig. 177. Stereoskopisches Mikroskop.

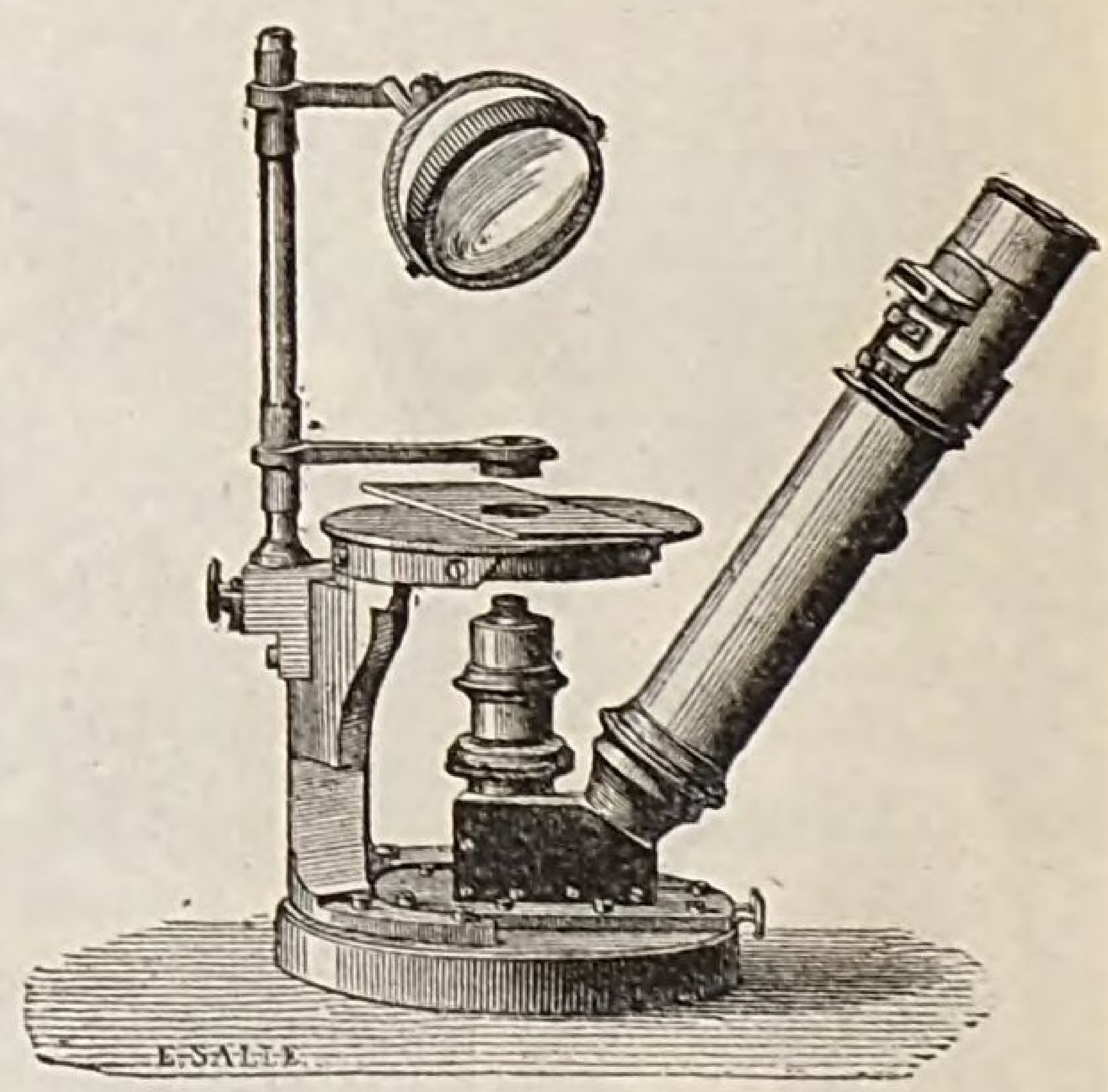


Fig. 178. Mikroskop für Chemiker.

durch dasselbe vor großen Gefahren, z. B. vor jenen verderblichen Würmern, die sich nur gar zu oft im Fleische der Schweine vorfinden, und durch die schon mancher Unvorsichtige einen schmerzhaften Tod gefunden hat, schützen kann, wie sich das praktische Leben dieses Werkzeug angeeignet hat, um Fälschung der Waaren aller Art, der Gewebe, des Mehles, der Gewürze u. s. w. zu erkennen: alles dies ist zu bekannt, als daß wir ausführlicher darüber zu sprechen brauchten.

Viertes Kapitel.

Das Fernrohr.

Wenn uns das Mikroskop die Geheimnisse des unendlich Kleinen erschließt, wenn es dem Auge gestattet Gegenstände mit allen Einzelheiten zu erkennen, die so geringe Ausdehnung haben, daß ihr Bild, wenn sie in deutliche Sehweite gebracht werden, ohne Anwendung jenes

Instrumentes auf der Netzhaut viel zu klein ist, als daß es auf unsere Sehnerven irgend welchen Eindruck machte; wenn uns also das Mikroskop Gegenstände zur Anschauung bringt, die wir zwar in unserer unmittelbaren Nähe haben, die sich aber durch ihre Kleinheit unserer directen Beobachtung entziehen: so verrichtet andererseits dieselben Dienste in derselben Vollendung das Fernrohr oder Teleskop bezüglich derjenigen Körper, die durch ihren großen Abstand unserem Auge nicht mehr erkennbar sind, so groß auch ihre Ausdehnung sein mag. Durch dieses Instrument können wir die Tiefen des Weltenraumes durchforschen und Gestirne auffinden, die sich unserer Kenntniß ohne dasselbe für immer entziehen würden: aber auch die Körper, die wir schon mit bloßem Auge wahrnehmen, werden uns näher gerückt, sodaß wir uns über die Einzelheiten ihrer Structur Aufschluß verschaffen können; hierdurch erweitert sich wesentlich der Kreis der Gegenstände, die wir unseren Beobachtungen unterwerfen können, und damit ist uns die Möglichkeit gegeben die Gesetze, nach denen die Vorgänge in der Natur geregelt sind, an immer mehr und mehr Objecten zu ergründen.

Die zuerst construierten Fernrohre beruhten einzig auf der Brechung oder Refraction der Lichtstrahlen durch Linsen: eine Construction, zu der man gegen Ende des vorigen Jahrhunderts wieder vollständig zurückgekehrt ist, nachdem es gelungen ist die Fehler der sphärischen und chromatischen Abweichung zu beseitigen; man bezeichnet die allein auf diesem Principe beruhenden Fernrohre als dioptrische Fernrohre oder Refractoren. In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts dagegen, als man die genannten Fehler noch nicht zu verbessern verstand, baute man Fernrohre, in denen an Stelle der einen Linse ein Hohlspiegel angewendet wurde, die also zugleich auf der Strahlenbrechung und auf der Zurückwerfung der Lichtstrahlen oder Reflexion beruhten: man könnte dieselben als katadioptrische Teleskope bezeichnen, nennt sie aber gewöhnlich Reflectoren oder Spiegelteleskope. Der Zeit nach sind die Refractoren die älteren Fernrohre, und unter ihnen war das holländische Fernrohr das jüngst erfundene, zu dem wir uns auch jetzt wenden wollen.

§ 1. Das holländische Fernrohr.

In welches Jahr die wichtige Erfindung der Fernrohre zu verlegen ist und wen man als den eigentlichen Erfinder dieser Instrumente anzusehen hat, das ist, wie so manche andere Thatsache aus der Geschichte der Entwickelung der Cultur, in ein Dunkel gehüllt, welches vielleicht niemals vollkommen aufgehellt werden wird. Die verschiedensten Ansichten sind über diesen Punkt aufgestellt worden: ja bis in das Alterthum oder wenigstens bis in das Mittelalter hat man die Erfindung zurückdatieren wollen; allein die Gründe, die man hierfür angeführt hat, sind zu haltlos, als daß diese Meinung irgend welche Wahrscheinlichkeit für sich haben sollte. Erst gegen Ende des sechzehnten Jahrhunderts scheint der Gedanke aufgetaucht zu sein, daß man durch Combination zweier Linsen, einer convexen und einer concaven nähere und entferntere Gegenstände vergrößert erblicken könne: und es ist am wahrscheinlichsten, daß zuerst um diese Zeit der Brillenmacher Johann Lippershey zu Middelburg auf der holländischen Insel Walchern den Versuch praktisch ausgeführt hat und daher als Erfinder des Fernrohres anzusehen ist. Was die beiden anderen Männer betrifft, welche ebenfalls häufig als Erfinder dieses Instrumentes genannt werden, nämlich Jacob Adrianez, genannt Metius, aus Alkmar in Holland, und den berühmten Florentiner Physiker und Astronom Galilei, so ist ziemlich wahrscheinlich, daß zu ihnen eine dunkle Kunde von Lippershey's Entdeckung gelangt ist, daß sie infolge dessen selbst ähnliche Versuche anstellten und durch diese selbständig zu den nämlichen Resultaten gelangten. Doch würde auch der Fall nicht vereinzelt dastehen, daß dieselbe Entdeckung, welche durch den Gang der Wissenschaften schon vorbereitet ist, gleichzeitig von mehreren gemacht worden ist. Auch über die Geschichte der Entdeckung selbst giebt es verschiedene Lesarten, wie wir aus der folgenden Stelle ersehen, die wir der populären Astronomie von Arago entnehmen:

„Hieronymus Sirturus berichtet, daß einst ein Unbekannter bei Lippershey eingetreten sei und mehrere convexe und concave Linsen bei ihm bestellt habe. Am festgesetzten Tage sei er zurückgekehrt um sie in Empfang zu nehmen, habe eine Convex- und eine Concavlinse ausgewählt, welche er vor sein Auge gehalten und dann von einander entfernt habe, ohne zu sagen, ob er damit nur eine Prüfung der Arbeit

anstellen wolle oder irgend einen anderen Zweck verbinde; darauf habe er bezahlt und sei fortgegangen. Sogleich nach seiner Entfernung habe Lippershey versucht die Manipulationen des Fremden nachzuahmen und habe zu seinem Erstaunen die Vergrößerung wahrgenommen, welche durch die beiden Linsen bewirkt wurde; er habe die beiden Gläser an den Enden eines Rohres befestigt und sich beeilt das Instrument dem Prinzen Moritz von Nassau zu überreichen.

„Nach einem anderen Berichte haben dagegen Lipperhey's Kinder in der Werkstatt ihres Vaters aus Spielerei durch eine concave und eine convexe Linse geblickt und dabei wahrgenommen, daß, wenn sie dieselben in geeigneter Entfernung von einander hielten, der Wetterhahn auf dem Kirchthurme von Middelburg vergrößert und merklich nähergerückt erschien. Durch die Verwunderung der Kinder aufmerksam gemacht habe Lippershey zuerst die Gläser auf einer Reißschiene aufgerichtet um die Beobachtungen bequemer anstellen zu können: dann aber habe er sie an den Enden zweier Rohre befestigt, die sich in einander schieben ließen. In dieser Weise soll das erste Fernrohr zustande gekommen sein."

Das Fernrohr besteht ebenso wie das Mikroskop mindestens aus zwei Linsen, von denen die eine, welche Objectiv heißt, sich auf der Seite des Gegenstandes, den man betrachten will, befindet, während die andere, das Ocular, dem Auge genähert wird. Das Objectiv ist stets eine Convexlinse von ziemlich großer Brennweite, welche bewirkt, daß von den ferneren Gegenständen reelle, verkehrte Bilder in ihrem Brennpunkte entstehen: das Ocular dagegen ist bei den zuerst erfundenen Fernrohren, welche man als holländische oder Galileische Fernrohre bezeichnet, und die wir zunächst nur betrachten wollen, biconcav, und erst bei später erfundenen Instrumenten, auf die wir weiter unten zu sprechen kommen, wurde auch als Ocular eine Convexlinse oder ein System solcher Linsen angewendet.

Ueber die Entstehung der Bilder beim holländischen oder Galileischen Fernrohre giebt Fig. 179 Aufschluß: Die Lichtstrahlen, welche von einem entfernten Gegenstande kommen, werden durch das biconvexe Objectiv so gebrochen, daß sie ein reelles, verkehrtes Bild des Gegenstandes ab im Brennpunkte f' der Linse geben, von dessen Existenz man sich überzeugen kann, wenn man das Ocular O' entfernt und in f' einen weißen Schirm aufstellt. Doch bevor sich die convergierenden Lichtstrahlen wirklich zu

diesem Bilde vereinigen, treffen sie auf das Ocular O', welches biconcav ist und dessen Grenzflächen eine stärkere Krümmung besitzen als die Flächen von O. Durch diese Linse werden nun die vorher convergenten Strahlen wieder zur Divergenz gebracht, und sie gelangen nun in unser Auge, als kämen sie von einem Gegenstande A'B', welcher hinter der Linse in aufrechter Stellung sich befindet, und der in der deutlichen Sehweite liegt, wenn man den beiden Linsen den richtigen gegenseitigen Abstand gegeben hat.

Wenn wir von der Vergrößerung eines Fernrohres sprechen, so müssen wir darunter etwas anderes verstehen als bei den Mikroskopen: es kann

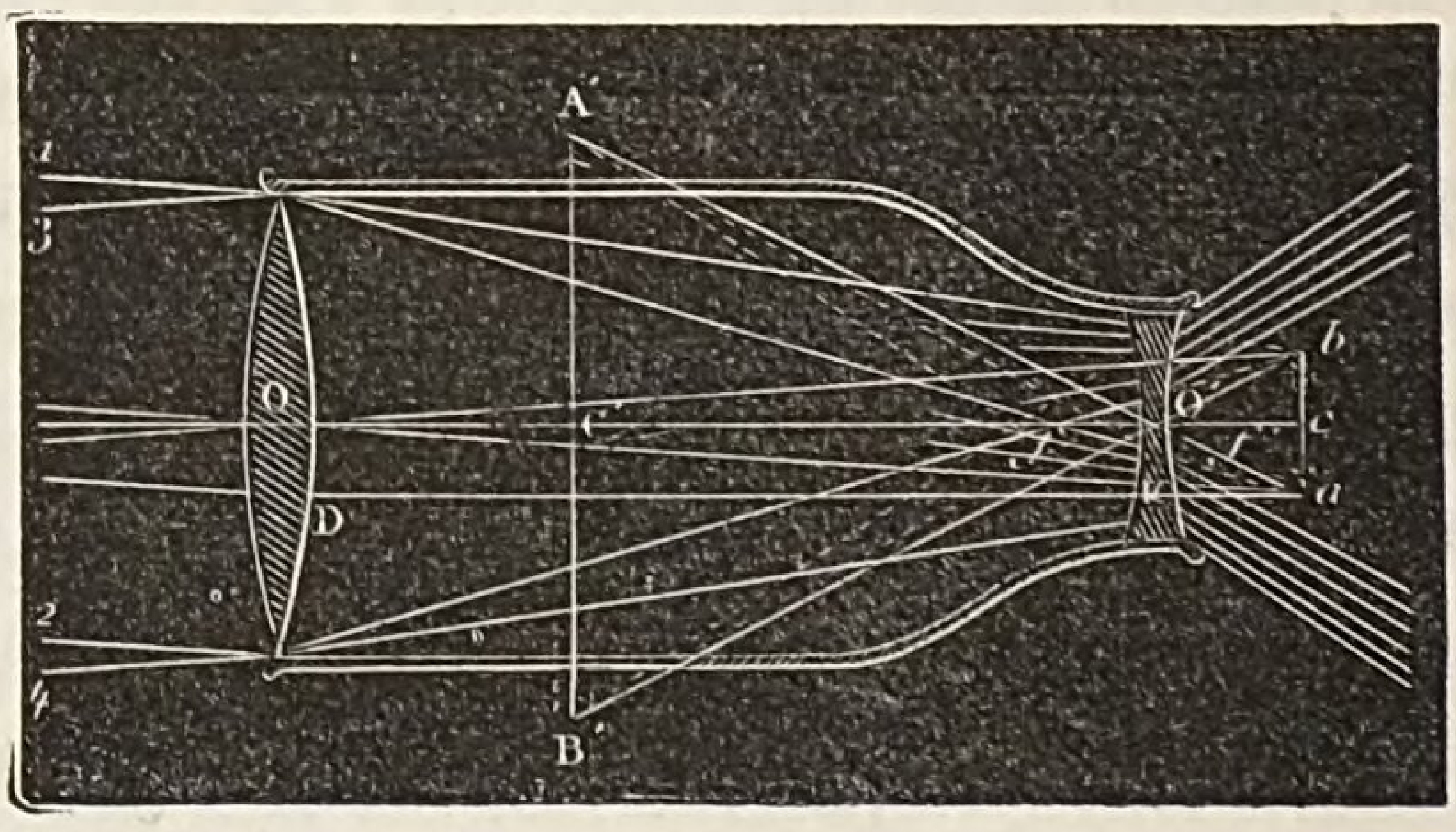


Fig. 179. Gang der Lichtstrahlen im holländischen Fernrohre.

sich dabei nämlich nicht um die wahre Größe, d. h. um den wirklichen Durchmesser des beobachteten Gegenstandes und seines Bildes handeln, sondern nur um die scheinbare Größe beider. Unter der scheinbaren Größe eines Gegenstandes aber versteht man den Winkel, den die Strahlen mit einander einschließen, welche von seinen äußersten Punkten in unser Auge dringen; und dieser Winkel hängt einerseits von der wahren Größe des Gegenstandes, andererseits von seinem Abstande von unserem Auge ab: so erscheint uns unsere Hand größer als ein entferntes Haus und der Mond bei der totalen Sonnenfinsterniß größer als die Sonne, deren Durchmesser doch in Wirklichkeit das 400fache von dem des Mondes beträgt. Sind also die Strahlen 1 und 3, oder auch 2 und 4, und ebenso die beiden äußersten Strahlen, die sich in O schneiden, Strahlen, welche von den Endpunkten des fernen Gegenstandes kommen, so ist der Winkel, den sie einschließen, die scheinbare Größe desselben: dieser Winkel ist aber offenbar gleich dem Winkel aOb. In gleicher Weise ist die scheinbare Größe des Bildes A'B' für ein Auge,

das sich unmittelbar hinter dem Oculare O′ befindet, der Winkel A′O′B′, welcher selbst wieder gleich aO′b ist: so oft also der Winkel aOb im Winkel aO′b enthalten ist, sovielmal vergrößert das Fernrohr. Nun läßt sich aber auf mathematischem Wege leicht zeigen, daß das Verhältniß dieser beiden Winkel der Umkehrung des Verhältnisses der Abstände des reellen Bildes ab von den Punkten O und O′ nahezu gleich ist: und so kann man, da diese Abstände mit den Brennweiten beider Linsen fast genau übereinstimmen, die Vergrößerung eines holländischen Fernrohres bestimmen, wenn man die (reelle) Brennweite des Objectivs durch die (ideelle) Brennweite des Oculares dividiert.

Die ersten Fernrohre, welche Galilei construierte gaben nur eine 4 bis 7fache Vergrößerung, und auch später hat dieser berühmte Astronom eine 32fache Vergrößerung nicht überschritten: und doch genügten ihm diese einfachen Instrumente um eine Reihe Entdeckungen zu machen, welche allgemeines Erstaunen erregten; er war es, der zuerst die Berge des Mondes, die Flecken der Sonne, aus deren Bewegung sich auf die Rotation dieses Körpers schließen ließ, die Monde des Jupiter, die Phasen der Venus beobachtete, der zuerst die nebelhaften Gebilde des Himmels, besonders in der Milchstraße, in einzelne Sterne auflöste, und vieles andere mehr. Durch alle diese Entdeckungen, für welche der Raum in der von Galilei herausgegebenen Zeitschrift Nuntius sidereus kaum ausreichte, wurde ein ganz neues Feld der Wissenschaft eröffnet, von dem die Alten keine Ahnung haben konnten, nämlich die Astrophysik oder physikalische Astronomie, die Lehre von der physikalischen Beschaffenheit der Himmelskörper, der sich in neuester Zeit die Astrochemie angereiht hat.

Wie alle älteren Fernrohre litt auch das holländische an dem Fehler, daß die Bilder mit farbigen Rändern umgeben waren, welche daher rühren, daß das Licht bei der Brechung auch in seine einzelnen Farben aufgelöst wird, eine Erscheinung, die man mit dem Namen der Farbenzerstreuung oder Dispersion bezeichnet: und erst dem englischen Physiker Dollond gelang es diesem Uebel abzuhelfen. Der Genannte hatte nämlich beobachtet, daß das sogenannte Flintglas, eine Glassorte, der eine bestimmte Menge Bleioxyd zugesetzt ist, nicht allein das Licht stärker bricht als andere Gläser, z. B. das sogenannte Crownglas, sondern daß es in noch weit höherem Grade die Farben zerstreut; er setzte

deshalb die Objective aus zwei Theilen zusammen, einem convexen aus Crownglas und einem concaven, jedoch weniger stark brechenden aus Flintglas: drang nun ein Lichtstrahl durch die Convexlinse, so wurde er gebrochen und in seine Farben aufgelöst, bei seinem weiteren Wege durch die Concavlinse aber wird, wenn die Krümmungen nur richtig berechnet

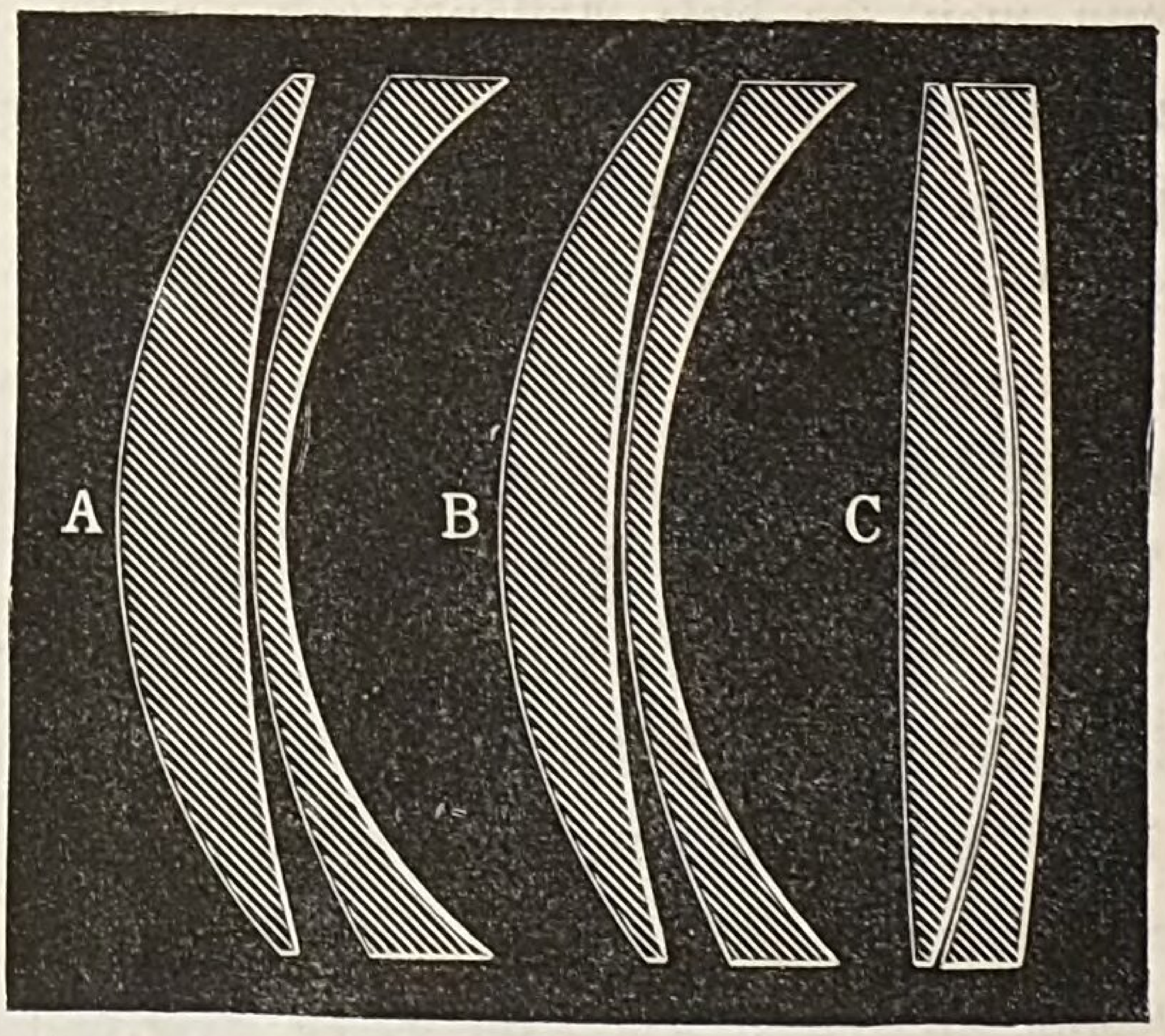


Fig. 180. Achromatische Linsen von Gauß (A) und Herschel (B und C).

sind, die Farbenzerstreuung wieder vollständig aufgehoben, während die Ablenkung des Lichtstrahles nur ein wenig abgemindert wird; das System beider Linsen, welche man zusammen als eine achromatische Linse bezeichnet, wirkt also immer noch als Sammellinse, bei welcher aber die chromatische Abweichung vermieden ist. In ähnlicher Weise lassen sich auch achromatische Concavlinsen herstellen, nur muß bei diesen der concave Theil aus Crownglas bestehen und stärker gekrümmt sein als der aus Flintglas gefertigte convexe Theil. Fig. 180 zeigt die Einrichtung achromatischer Objective.

Bei den holländischen Fernrohren läßt sich die Farbenzerstreuung schon dadurch vermeiden, daß man das Objectiv aus Crownglas, das Ocular aus Flintglas verfertigt, da das erstere eine Convex-, das andere eine Concavlinse ist, wenn man nur die erforderliche Krümmung der Flächen genau berechnet: allein in diesem Falle würde man sich mit außerordentlich geringen Vergrößerungen begnügen müssen, und man zieht es deshalb vor, sowohl Objectiv als Ocular achromatisch zu machen. In welcher Weise dies geschieht, ist aus Fig. 181 deutlich zu erkennen:

man sieht daselbst, wie das Objectiv aus zwei convexen Crownglaslinsen besteht, zwischen welche eine concave Flintglaslinse eingeschlossen ist, während das Ocular aus zwei concaven Crownglaslinsen zusammengesetzt ist, welche eine convexe Flintglaslinse umschließen.



Fig. 181. Theaterperspectiv mit achromatischem Objectiv und Ocular.

Da das holländische oder Galileische Fernrohr nur sehr mäßige Vergrößerungen zuläßt und da es immer nur ein verhältnißmäßig geringes Gesichtsfeld zu überblicken gestattet, so findet es in der Astronomie jetzt keine Verwendung mehr, sondern wird nur noch bei irdischen Objecten gebraucht, wenn eine starke Vergrößerung nicht erforderlich ist: so finden wir es in den Händen der Offiziere und Jäger als sogenannten Feldstecher, und auch die Theaterperspektive (Fig. 181) sind gewöhnlich holländische Fernrohre. Da die meisten Menschen nicht gewöhnt sind, nur mit einem Auge zu sehen und dabei das andere geschlossen zu halten, so vereinigt man zu letzterem Zwecke gewöhnlich zwei solche Fernrohre zu einem Doppelperspektiv oder Opernglase (Fig. 182), bei welchem

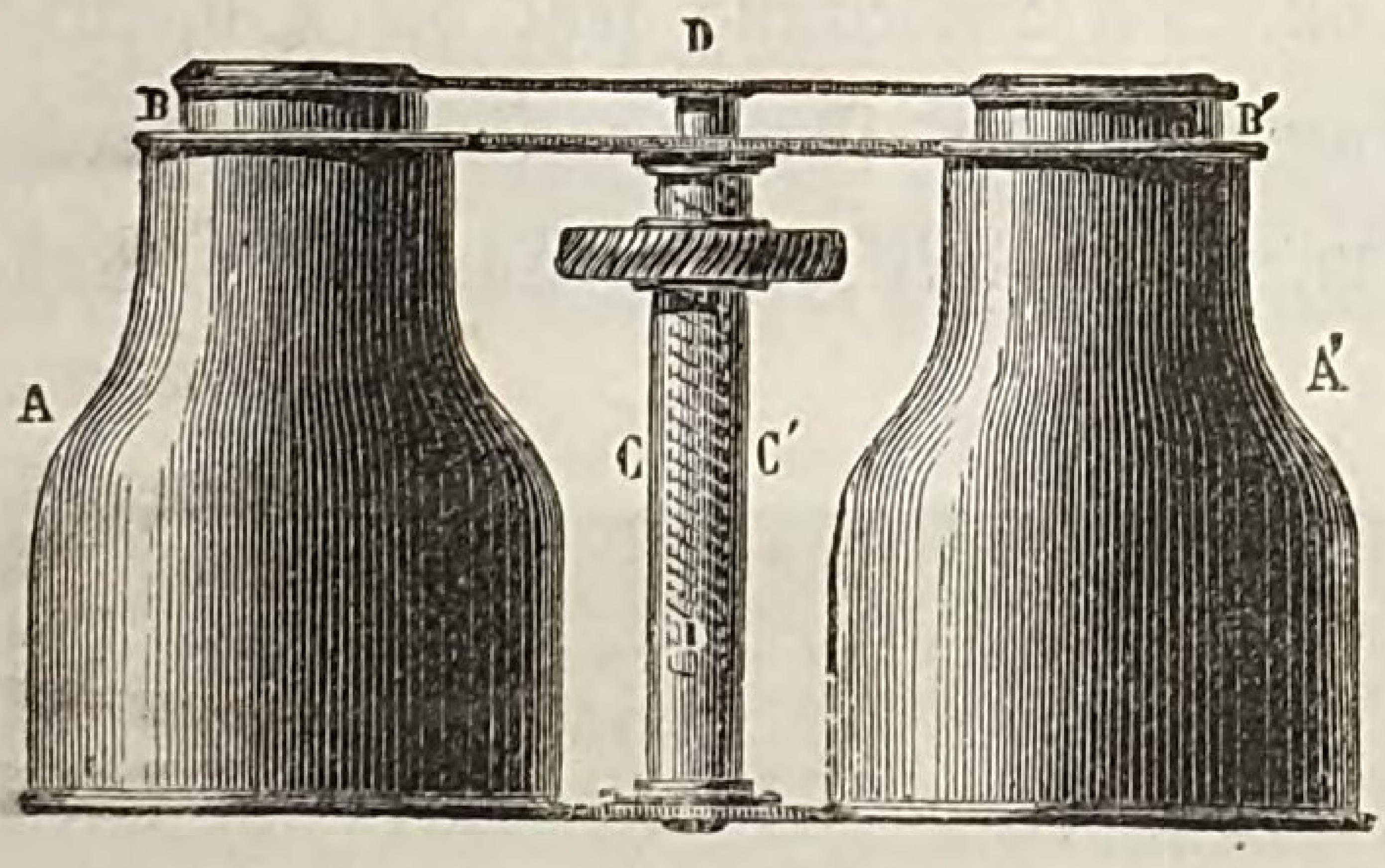


Fig. 182. Doppelperspectiv.

die Röhren, welche die Objective tragen, durch eine Querplatte mit einander verbunden sind. An dieser Platte ist ein Stab befestigt, welcher in einer Hülse steckt, in die Schraubengänge eingeschnitten sind, und einen Knopf trägt, der in die Schraubengänge hineinpaßt. Dreht man diese Hülse, so schiebt sich der Knopf in den Gängen weiter, und hierdurch werden die Oculare entweder von den Objectiven entfernt oder ihnen genähert, sodaß durch dieses Mittel die Gläser für jedes Auge richtig

eingestellt werden können: Kurzsichtige müssen das Rohr etwas verkürzen, Weitsichtige dagegen etwas verlängern.

§ 2. Das astronomische Fernrohr.

Einige Zeit, nachdem das holländische Fernrohr erfunden worden war, beschäftigte sich der berühmte deutsche Astronom Kepler mit der Theorie dieses Instrumentes, wie überhaupt mit den Gesetzen der Brechung der Lichtstrahlen durch Linsen und kam dabei durch seine Rechnungen zu dem Resultate, daß weit beträchtlichere Vergrößerungen zu erzielen sind, wenn man als Ocular ebenfalls eine Convexlinse anwendet, dieselbe aber vom Objective so weit entfernt, daß das reelle Bild zwischen beide fällt. Das Instrument, welches auf diese Weise construiert wurde, heißt das Kepler'sche oder astronomische Fernrohr: es besteht aus einem Objectiv, durch welches von den fernen Gegenständen reelle, verkehrte Bilder erzeugt werden, und einem Oculare, durch welches diese Bilder wie durch eine Loupe betrachtet werden; das Ocular muß also so aufgestellt werden, daß die Bilder innerhalb seiner Brennweite fallen, sodaß das Auge, welches sich hinter dem Oculare befindet, dieselben in der deutlichen Sehweite erblickt. Wir brauchen wohl kaum zu erwähnen, daß man seit Dollond's Entdeckung jetzt die Objective stets achromatisch macht: zur Vermeidung der Farbenzerstreuung durch das Ocular fügt man aber auch wie beim Mikroskope Campani's Collectivlinse ein.

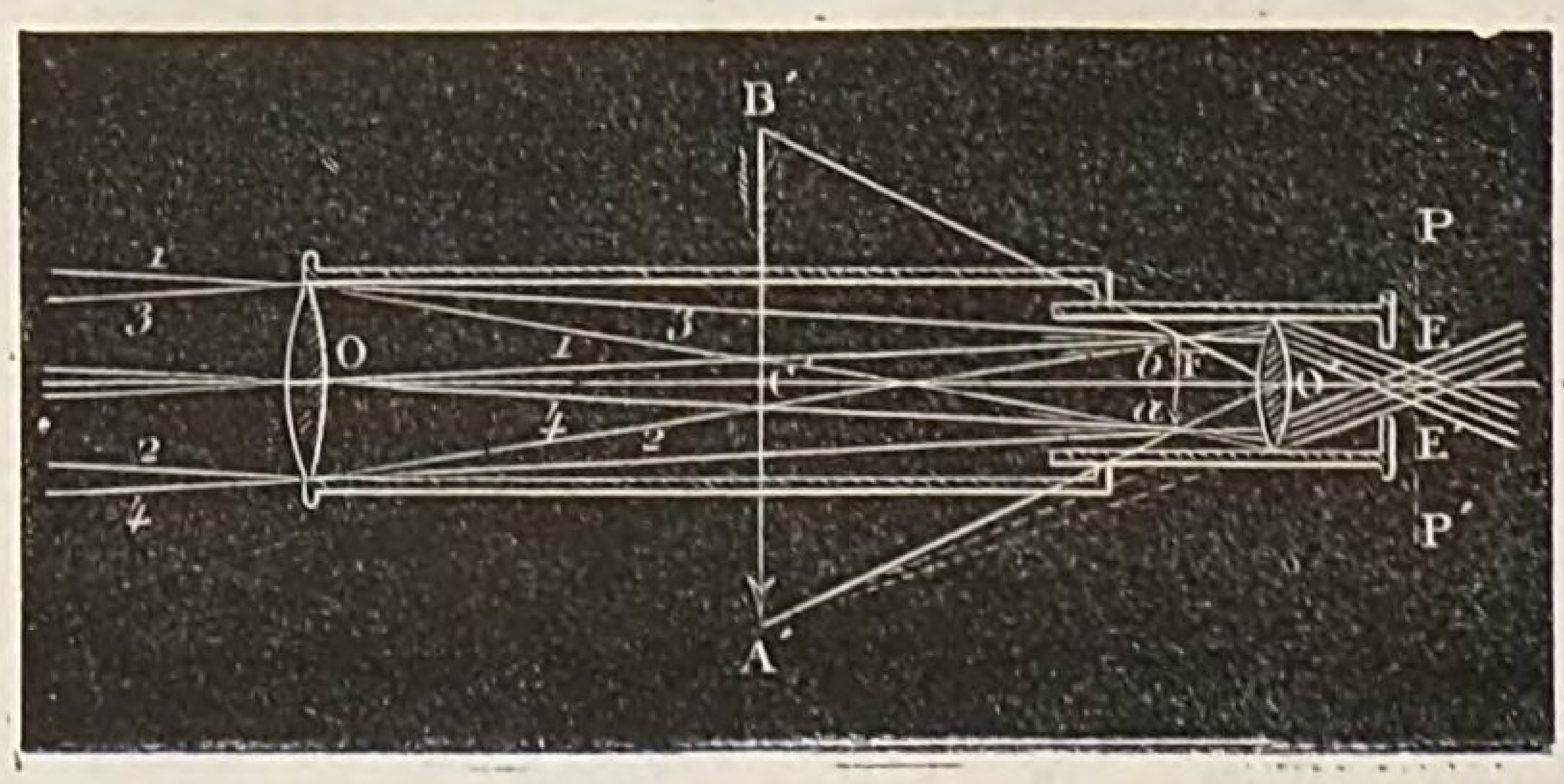


Fig. 183. Gang der Lichtstrahlen im astronomischen Fernrohre.

Die Entstehung der Bilder beim astronomischen Fernrohre, sowie den Gang der Lichtstrahlen wollen wir jetzt nach Fig. 183 betrachten. Da die Gegenstände, welche man durch das Fernrohr betrachtet, immer ziemlich weit entfernt sind, so kann man die Strahlen, die von einem

und demselben Punkte ausgehen, als parallel ansehen: sind 1 und 2 Strahlen, welche vom obersten Punkte des fernen Gegenstandes kommen, so werden dieselben vom Objective O so gebrochen, daß sie sich im Punkte a vereinigen; ebenso vereinigen sich die Strahlen 3 und 4, welche vom tiefsten Punkte kommen, in b, sodaß ab das reelle, verkehrte Bild des Gegenstandes darstellt. Rückt man das Ocular O' nun in geeignete Entfernung von diesem Bilde, so wird man dasselbe in A'B' in der deutlichen Sehweite erblicken: dabei bleibt aber, wie man sieht, das Bild in der verkehrten Lage, was bei astronomischen Beobachtungen jedoch in keiner Weise stören kann. Untersucht man die Zeichnung in ähnlicher Weise, wie wir es beim holländischen Fernrohre durchgeführt haben, so kommt man auch hier leicht zu dem Resultate, daß die Vergrößerung in dem Maße stattfindet, in dem die Brennweite des Objectivs die des Oculares übertrifft: natürlich gilt das nur, wenn als Ocular eine einzelne Linse angewendet wird; nimmt man an deren Stelle mehrere, welche sich unmittelbar hinter einander befinden, so wird die Rechnung etwas complicierter.

Die Figuren 184 und 185 bringen zur Anschauung, wie das astronomische Fernrohr in seinem Inneren beschaffen ist, und wie man

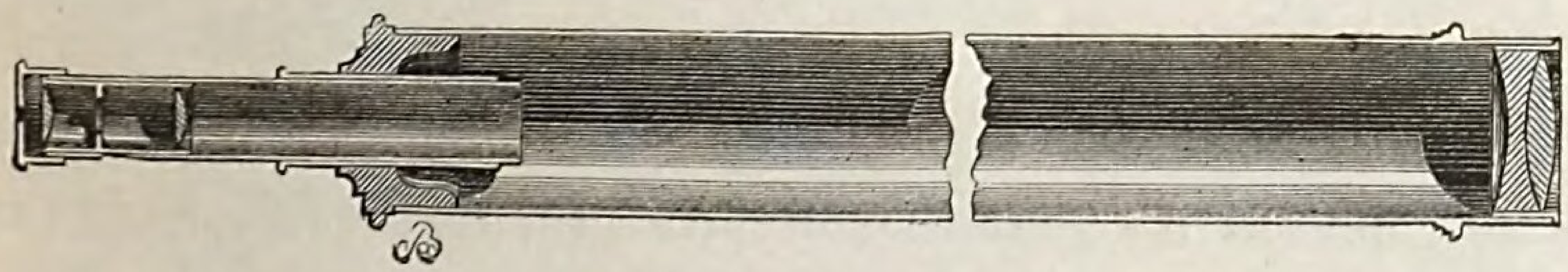


Fig. 184. Längsschnitt des astronomischen Fernrohrs.

es auf einem Fuße aufstellt, um seine Handhabung bei den Beobachtungen bequemer zu machen. In Fig. 184 sieht man, wie das Objectiv aus zwei Linsen zusammengesetzt ist, damit es achromatisch werde; am entgegengesetzten Ende aber bemerkt man das planconvexe Ocular in einer engeren Röhre, welche sich hin und her schieben läßt, und vor demselben die Collectivlinse, zwischen beiden aber ein Diaphragma. Die Einstellung des Objectivs, durch welche das Bild in der deutlichen Sehweite erscheint, erfolgt durch Umdrehung eines Knopfes V (Fig. 185), an dem ein Zahnrad befestigt ist, welches in eine Zahnstange, die an der Röhre des Objectivs befestigt ist, eingreift. Wie das Objectiv einzustellen ist, das hängt sowohl von der angewendeten Vergrößerung, als auch von der

deutlichen Sehweite des Beobachters, endlich aber auch für diejenigen Gegenstände, deren Abstand verhältnißmäßig gering ist, von der Entfernung dieser Gegenstände ab: für alle Gegenstände des Himmels, deren Abstand im Vergleiche mit den Dimensionen des Fernrohres immer als

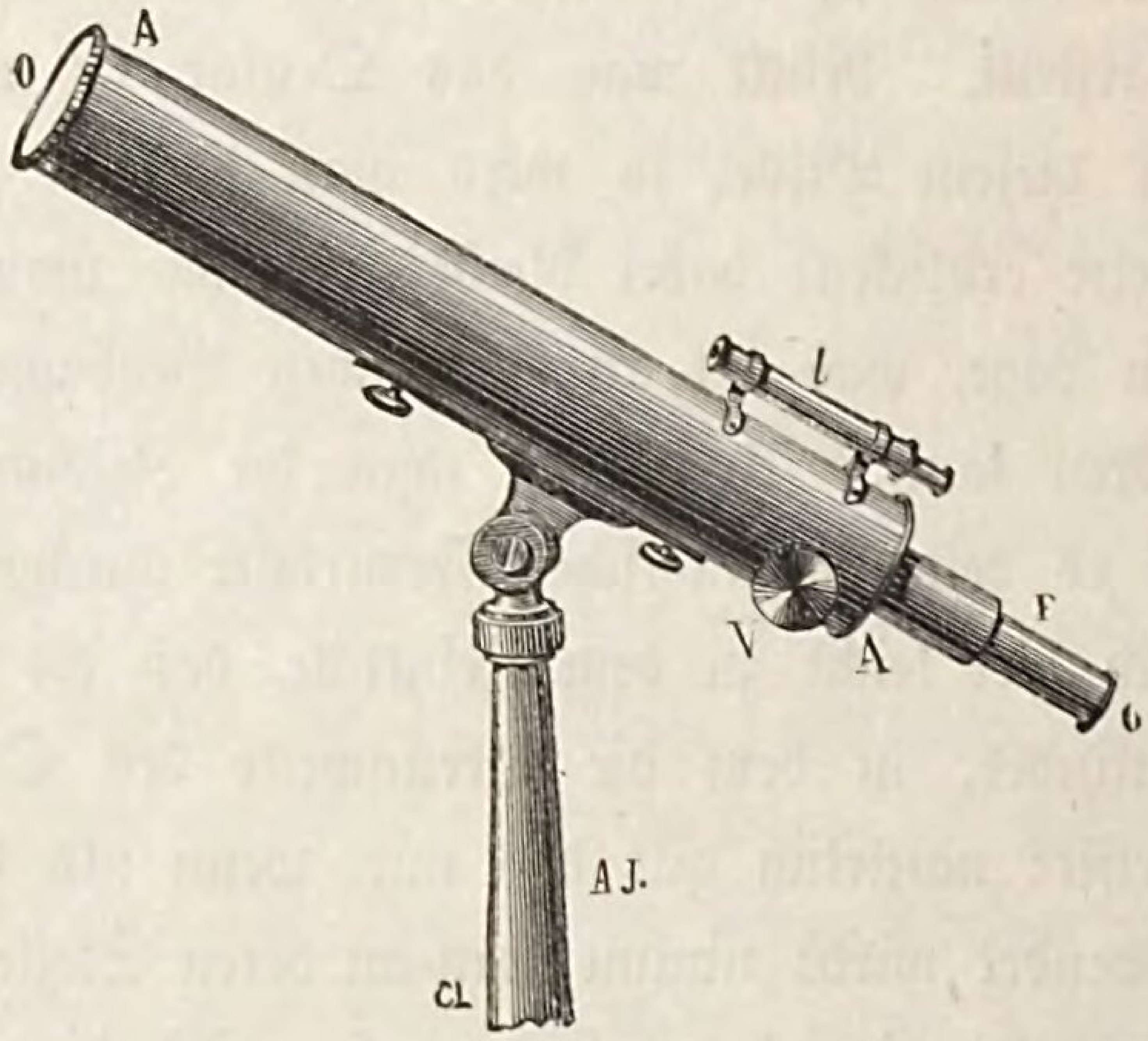


Fig. 185. Astronomisches Fernrohr mit Sucher auf einem Fuße aufgestellt.

unendlich groß angesehen werden kann, richtet sich die Einstellung nur nach dem Grade der Vergrößerung, d. h. nach der Krümmung des Objectivs, sowie nach dem Auge des Beobachters, ob dasselbe normal, kurzsichtig oder weitsichtig ist.

An dem Instrumente ist ein Sucher l befestigt, ein kleines Fernrohr, dessen Axe mit der Axe des Hauptrohres genau parallel gerichtet ist und in dessen Brennpunkte sich ein Kreuz aus zwei sehr feinen Fäden, die sich rechtwinklig durchschneiden, befindet. Wenn nämlich das Fernrohr ziemlich stark vergrößert, so ist das Gesichtsfeld, welches man gleichzeitig durch dasselbe überschauen kann, nothwendig sehr beschränkt: wollte man also irgend einen Gegenstand am Himmel sogleich durch das Fernrohr suchen, so würde es immer einige Mühe kosten, bevor man ihn in das Gesichtsfeld gebracht hat. Dagegen ist das Gesichtsfeld des Suchers ziemlich groß, sodaß man durch ihn den betreffenden Gegenstand viel leichter finden kann: man stellt den Sucher nun so ein, daß der Gegenstand an dem Punkte erscheint, wo die beiden Fäden sich kreuzen, und kann dann sicher sein, daß derselbe auch im Gesichtsfelde des Hauptrohres sichtbar ist. Auch in dem Hauptrohre selbst befindet sich ein System netzförmig ausgespannter Fäden, welche man so einzustellen hat,

daß sie durch das Ocular gesehen zugleich mit dem beobachteten Gegenstande in der deutlichen Sehweite erscheinen: dieses Fadennetz muß sich also gerade dort befinden, wo das durch das Objectiv erzeugte reelle Bild entsteht, bei der Beobachtung sehr entfernter Gegenstände muß es also in den Brennpunkt des Objectivs fallen.

Die Fernrohre mit großer Brennweite, wie sie in der Astronomie angewendet werden, haben eine Größe und ein Gewicht, welche ihre Handhabung sehr erschweren: man stellt sie daher nicht auf einem einfachen Fuße auf, sondern befestigt sie an zusammengesetzten Gestellen, an

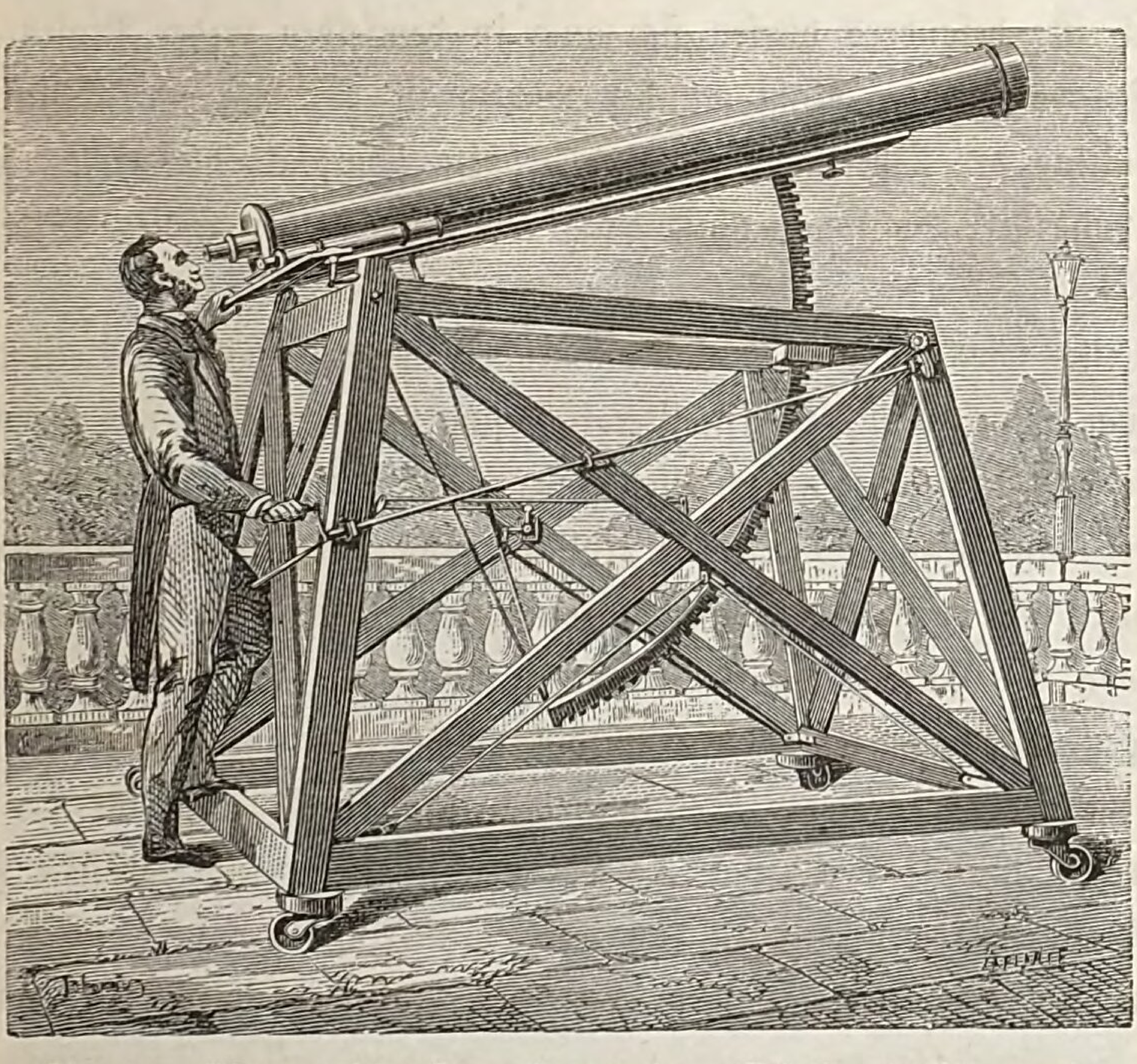


Fig. 186. Astronomisches Fernrohr auf einem Gestelle mit Räderwerk.

denen gezahnte Kreise und Zahnräder angebracht sind, welche sich durch Gelenkstangen leicht umdrehen lassen und dadurch dem Fernrohre die gewünschte Richtung ertheilen. Figur 186 zeigt ein solches Gestell älterer Construction, welches selbst noch ziemlich mangelhaft ist: in neuerer Zeit hat man sich auch in diesem Falle die Fortschritte der Mechanik zu Nutze gemacht, sodaß die Bewegungen mit der größten Leichtigkeit und Sicherheit ausgeführt werden können.

Nach dem, was wir weiter oben gesagt haben, scheint es, als hinge

die Vergrößerung des astronomischen Fernrohres für ein und dasselbe Objectiv nur vom Oculare ab: und in der That kann auch dasselbe Fernrohr sehr verschiedene Vergrößerungen geben, wenn man Oculare von größerer oder geringerer Brennweite anwendet. Theoretisch betrachtet scheint also der Grad der Vergrößerung eines Fernrohres keine Grenzen zu haben: in der Praxis aber sind doch noch manche Umstände zu berücksichtigen, über welche wir jetzt einige Worte sagen müssen.

Die Güte eines Fernrohres und seine vergrößernde Kraft hängt hauptsächlich vom Objective ab. Zunächst ist unbedingt erforderlich, daß das Material, aus dem die Linse verfertigt wird, so rein als nur irgend möglich ist; besonders dürfen sich auch in demselben weder Blasen, noch Streifen vorfinden. Nicht minder wichtig ist es, daß der Schliff und die Politur der Oberfläche mit der größten Sorgfalt ausgeführt werde, denn von ihrer Vollkommenheit hängt die Schärfe der reellen Bilder ab, welche das Objectiv in seinem Brennpunkte hervorruft.

Weiter wird bei gleicher Vollkommenheit in den erwähnten Beziehungen dasjenige Objectiv die stärkste Vergrößerung bewirken, dessen Durchmesser und dessen Brennweite am größten sind. Denn die Helligkeit des Bildes, welches man durch das Ocular erblickt, muß offenbar zunächst von der Helligkeit des durch das Objectiv erzeugten reellen Bildes, und folglich auch von der Anzahl der Lichtstrahlen, welche zur Bildung des letzteren beitragen, abhängig sein: diese Anzahl wächst aber im directen Verhältnisse mit der Größe der Oeffnung des Objectivs. Da bei der Vergrößerung durch das Ocular die Lichtstrahlen über eine größere Fläche ausgebreitet werden, so wird das Bild dem Auge um so schwächer und undeutlicher erscheinen, je mehr diese Vergrößerung wächst, es müßten denn die Strahlen von einem Körper ausgehen, dessen Dimensionen für uns verschwinden, und der uns doch eine Fülle eignen Lichtes zusendet, wie dies bei allen Fixsternen der Fall ist. In diesem Falle ist eine Verringerung der Lichtstärke infolge der Vergrößerung nicht vorhanden, sondern die Helligkeit wächst im Verhältniß mit dem Quadrate des Durchmessers des Objectivs und des Durchmessers der Pupille unseres Auges. Durch ein Fernrohr mit großer Oeffnung wächst die Zahl der Sterne, welche man auf einer begrenzten Fläche des Himmels erblicken kann, sehr beträchtlich, wie in Figur 187 und 188 dargestellt ist: die erste dieser Figuren zeigt eine bestimmte Stelle im Sternbilde der

Zwillinge, wie sie dem bloßen Auge erscheint, welches dort nur sieben Sterne erblickt; Fig. 188 zeigt dieselbe Stelle durch ein Rohr von 27 cm Oeffnung gesehen: Chacornac hat in diesem Falle nicht weniger als 3205 Sterne in diesem Raume gezählt. Will man wissen, in welchem Grade die Lichtstärke bei Anwendung des Fernrohres gewachsen ist, und setzt man den Durchmesser der Pupille gleich 6 mm, so ergiebt sich das Verhältniß von 36 zu 72900 oder 1 zu 2025. Allein hierbei haben wir die Absorption des Lichtes unberücksichtigt gelassen: dieselbe ist aber immer ziemlich beträchtlich, sodaß die Lichtstärke nicht in demselben Maße wächst, welches sich aus der Berechnung, bei der nur die Weite der Oeffnung berücksichtigt wird, ergiebt.



Fig. 187. Einige Sterne aus dem Sternbilde der Zwillinge mit bloßem Auge gesehen.



Fig. 188. Dieselbe Stelle des Himmels durch ein Fernrohr von 27 cm. Oeffnung betrachtet.

Auf diese Weise erklärt es sich auch, daß es möglich ist, bei hellem Tage mittels der Fernrohre Sterne aufzufinden, welche man mit bloßem

Auge nur des Nachts sehen kann. Die nicht selbst leuchtenden Sterne, wie der Mond und die Planeten, besitzen im astronomischen Fernrohre eine geringere Helligkeit, als sie für das bloße Auge haben, woraus sich ergiebt, daß für ein und dasselbe Object der Grad der Vergrößerung eine gewisse Grenze nicht übersteigen darf.

Zu den bemerkenswerthesten und mächtigsten Fernrohren, die man bisher benutzte, gehören die auf den Sternwarten von Paris und von Pulkowa aufgestellten, welche eine Oeffnung von 38 cm und eine Brennweite von 8 m haben, und das in Cambridge in den Vereinigten Staaten aufgestellte, dessen Oeffnung 47 cm beträgt. Doch auch diese Instrumente sind jetzt übertroffen worden durch ein Fernrohr, welches von Mc Cormick construiert wurde und welches nunmehr auf der Sternwarte zu Washington in Amerika aufgestellt ist. Das Objectiv dieses Rohres, mit welchem durch Alvan Clark in Cambridgeport die Entdeckung der Marsmonde bestätigt wurde, die Hall in Washington am 11. und 17. August 1877 zuerst gesehen hatte, besitzt einen Durchmesser von nicht weniger als 26″ engl., das sind 66 cm.

§ 3. Das terrestrische Fernrohr.

Wie wir erwähnten, wurde das astronomische Fernrohr auf dem theoretischen Wege der Berechnung durch Kepler zwar erfunden, in Wirklichkeit ausgeführt wurde ein solches Instrument aber erst durch den Jesuitenpater Scheiner, von dessen Zeiten an das holländische Fernrohr durch das Kepler'sche immer mehr verdrängt wurde; nur für Beobachtungen auf der Erdoberfläche besaß es den großen Uebelstand, daß in ihm alle Gegenstände verkehrt erschienen, und deshalb wurde in diesem Falle das holländische Fernrohr auch fernerhin allein angewendet, bis es dem Kapuziner Shyrl, der sich gewöhnlich nach dem Kloster Rheit in Böhmen, welchem er angehörte, Rheita nannte, gelang, auch diesen Fehler zu verbessern. Das von ihm erfundene Fernrohr, welches man das terrestrische Fernrohr nennt, unterscheidet sich vom astronomischen nur dadurch, daß an Stelle des Oculares 3 Convexlinsen aufgestellt werden, welche in einer Weise wirken, die sich aus Fig. 189 erkennen läßt. Wenn durch das Objectiv von dem fernen Gegenstande ein reelles, verkehrtes Bild ab erzeugt ist, so wird die erste Ocularlinse O'' so aufgestellt, daß

dieses Bild noch innerhalb ihrer Brennweite fällt: dieselbe bewirkt dann, daß ein ideelles Bild entsteht, welches auf derselben Seite wie ab aber in größerer Entfernung von der Linse O'' liegt. Die Strahlen treffen nun auf die Linse O''' als wenn sie von diesem ideellen Bilde kämen, und durch diese Linse entsteht nun wieder, weil das ideelle Bild einen

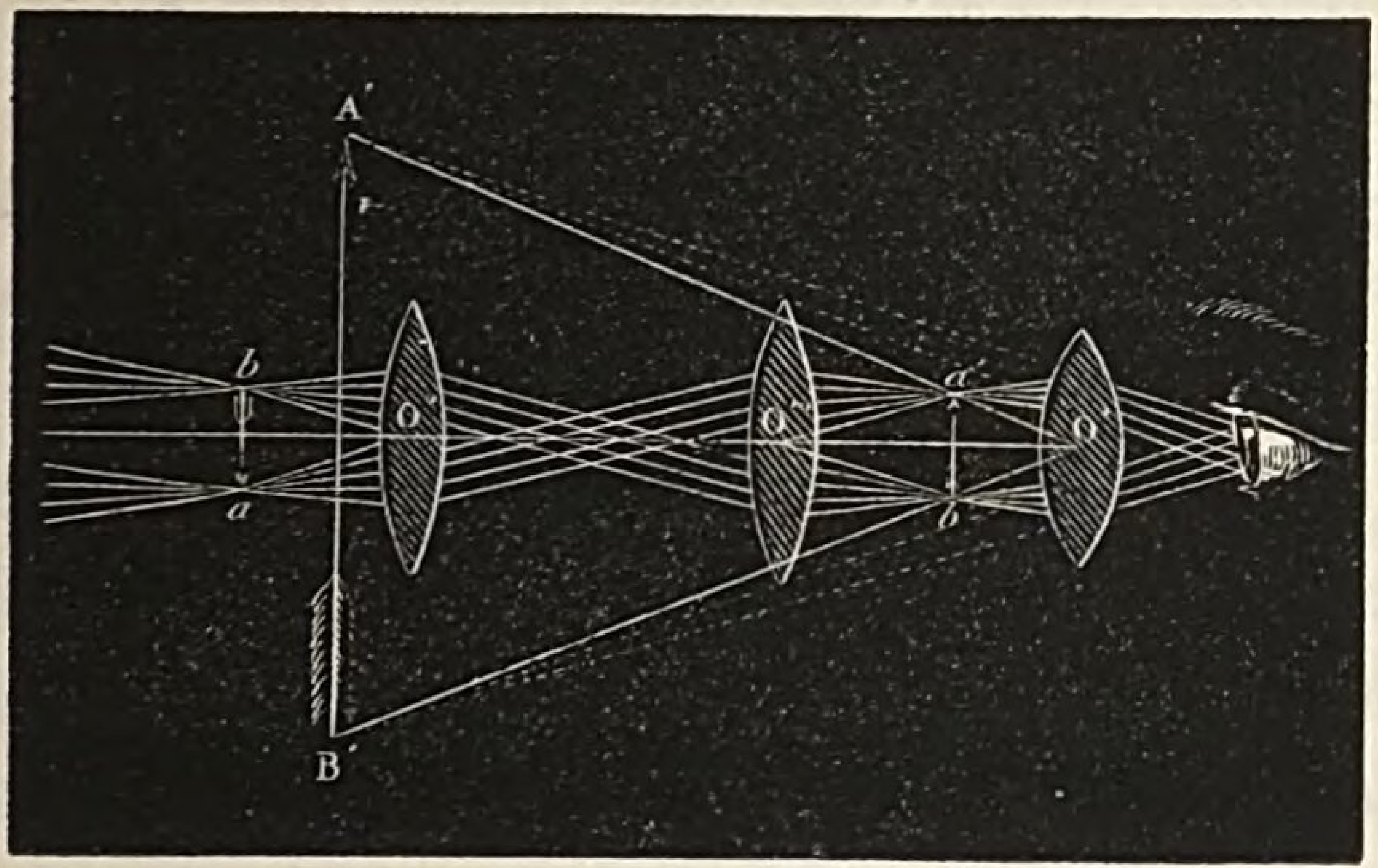


Fig. 189. Gang der Lichtstrahlen durch die Ocularlinsen des terrestrischen Fernrohres.

viel größeren Abstand von O''' hat, als die Brennweite dieser Linse beträgt, ein reelles Bild a'b', welches aufrecht ist, weil durch die Linse das verkehrte Bild nochmals umgedreht worden ist. Dieses reelle Bild a'b' wird nun endlich durch die Linse O' wie durch eine Loupe betrachtet und erscheint dem Auge vergrößert, aber aufrecht. Die drei Linsen, aus denen das Objectiv zusammengesetzt ist, werden so aufgestellt, daß immer die Brennpunkte von je zwei auf einander folgenden zusammen fallen: durch diese Anordnung geschieht es schon, daß das Bild a'b', welches außerhalb der Brennweite von O''' fällt, innerhalb der Brennweite von O' zu liegen kommt. An Stelle der mittleren Linse wendet man jetzt gewöhnlich zwei planconvexe Linsen an, sodaß damit die Zahl der Linsen des Oculares auf vier gestiegen ist.

Der Vortheil, den diese Combination von Linsen gewährt, besteht darin, daß durch sie die Gegenstände aufrecht erblickt werden, was bei irdischen Gegenständen wünschenswerth, wenn nicht nothwendig ist: dabei aber zeigt sie den Nachtheil, daß die Helligkeit bedeutend vermindert wird, sodaß man bei einem und demselben Objective die Vergrößerung nicht mehr so stark wählen darf, als wenn man das Fernrohr als ein astronomisches gebraucht; der Grund für diese Abschwächung der Lichtstärke ist darin zu suchen, daß die Strahlen durch zwei neue Linsen

hindurch gehen müssen, ein Umstand, der bei dem Galileischen Fernrohre nicht vorhanden ist, sodaß sich die Anwendung des letzteren empfiehlt, wenn es sich nicht um starke Vergrößerungen handelt.

Man baut jetzt Fernrohre von der verschiedensten Größe, welche die Gegenstände im verschiedensten Grade vergrößert erscheinen lassen, und verwendet dieselben bald zu nützlichen Zwecken und bei wissenschaftlichen Untersuchungen, bald aber auch nur zur Unterhaltung und zur Befriedigung der Neugierde. Vor Erfindung des elektrischen Telegraphen benutzten die beim Lufttelegraphen angestellten Beamten Fernrohre, deren Objective eine Oeffnung von 8 bis 9 ^{cm} und eine Brennweite von $2^1|_2{}^m$ hatten, um mit denselben die gegebenen Zeichen deutlich zu erkennen. Die Schiffer gebrauchen ähnliche Fernrohre jedoch von geringeren Dimensionen, weil sonst die Handhabung am Borde zu unbequem sein würde; für die Beobachtungen, welche sie in der Dämmerung oder in der Nacht anstellen wollen, wenden sie dagegen häufig Fernrohre an, welche nur ein einfaches Ocular haben gleich den astronomischen, damit möglichst wenig Licht absorbiert wird, oder solche, deren Objectiv ziemlich groß ist, damit möglichst viel Licht in sie eindringen kann.

Alle Instrumente, welche wissenschaftlichen, besonders astronomischen Zwecken dienen sollen, erfordern eine Vollendung in der Ausführung, durch die sich ihr Preis immer verhältnißmäßig hochstellt; besonders erfordert das Schleifen und Polieren des Objectives, ganz abgesehen noch von der Reinheit des Stoffes, aus welchem es verfertigt ist, eine lange und sorgfältige Arbeit, wenn die Bilder wirklich in voller Schärfe hervortreten sollen und wenn man weiter die Farbenzerstreuung vollständig aufheben will. Alle Gläser müssen wiederholten Prüfungen unterzogen werden, und zwar ist hierbei nothwendig, daß die Augen, welche diese Prüfung anstellen, an die Beobachtung der Himmelskörper gewöhnt sind: als Prüfungsobjecte wählt man gewöhnlich solche Himmelskörper, deren Beobachtung mit einiger Schwierigkeit verbunden ist, man sucht z. B. Doppelsterne auf, welche sehr nahe bei einander stehen oder richtet die Gläser auf gewisse Nebelflecke oder auf die Ringe des Saturn und sieht, ob man deren Structur durch sie deutlich erkennen kann; auch die kleinen Monde der entfernteren Planeten sind geeignete Beobachtungsgegenstände. Andere Himmelskörper lassen sich dagegen fast durch jedes Instrument gut beobachten: so z. B. der Mond, für den es,

wie man gesagt hat, gar kein schlechtes Fernrohr giebt. Bei den meisten astronomischen Beobachtungen muß man sich wohl hüten, allzu starke Vergrößerungen anzuwenden, wenn es nicht etwa gilt z. B. die Beschaffenheit der Nebelflecke, die Oberfläche der Planeten oder ähnliche Gegenstände zu untersuchen: eine mittlere Vergrößerung, bei welcher die Bilder sehr hell und scharf erscheinen, wirkt günstiger, als ein Uebermaß in dieser Beziehung, das nur zu oft ohne wahren Nutzen bei diesen Instrumenten angewendet wird.

§ 4. Die Spiegelteleskope.

Das Spiegelteleskop oder der Reflector unterscheidet sich von den bisher betrachteten Fernrohren, welche alle zu den Refractoren gehören, dadurch, daß bei ihm das Objectiv nicht in einer durchsichtigen Linse, sondern in einem Hohlspiegel besteht, durch welchen ein reelles, verkehrtes Bild des zu beobachtenden Gegenstandes gebildet wird, das in dem Brennpunkte des Spiegels liegt, wenn der Gegenstand nur weit genug entfernt ist. Durch ein an geeigneter Stelle angebrachtes Ocular wird dieses Bild betrachtet und es erscheint dem Auge in ähnlicher Weise vergrößert, wie die Bilder der Gegenstände, welche man durch das astronomische Fernrohr erblickt.

Den Gedanken einen Hohlspiegel als Objectiv anzuwenden und auf diese Weise den Fehler der chromatischen Abweichung zu umgehen mag wohl zuerst im Jahre 1616 der Italiener Zucchi ausgesprochen haben, doch zuerst ausgeführt wurde ein derartiges Instrument durch den Engländer Gregory, dem also das Verdienst der Erfindung zugesprochen werden muß. Wir werden später die Einrichtung des Gregory'schen Fernrohres betrachten und bemerken jetzt nur, daß bei demselben das Licht erst in das Auge gelangt, nachdem es von zwei verschiedenen Spiegeln zurückgeworfen worden ist. Durch diese doppelte Reflexion wird aber die Lichtstärke sehr vermindert, und aus diesem Grunde gab der berühmte Astronom William Herschel dem Spiegelteleskope eine Einrichtung, bei welcher die zweite Reflexion vollständig in Wegfall kommt; da überhaupt Herschel's Teleskop in seiner Anlage am einfachsten ist, so wollen wir die Reihe der Spiegelteleskope mit ihm eröffnen.

Am Ende einer Röhre befindet sich ein Hohlspiegel M (Fig. 190),

welcher die Strahlen, die vom fernen Gegenstande kommen, auffängt und zu einem reellen, aber verkehrten Bilde ab im Brennpunkte des Spiegels vereinigt: dadurch, daß der Spiegel M nicht ganz gerade in dem Rohre gestellt ist, liegt dieses Bild nicht in der Mitte, sondern am unteren Rande des Rohres; vor ihm ist nun eine Linse als Ocular aufgestellt, durch welche das Auge das Bild vergrößert erblickt. Man sieht, daß bei diesem Fernrohre der Beobachter sich so aufstellen muß, daß er den Gegenständen, auf welche das Fernrohr gerichtet ist, den

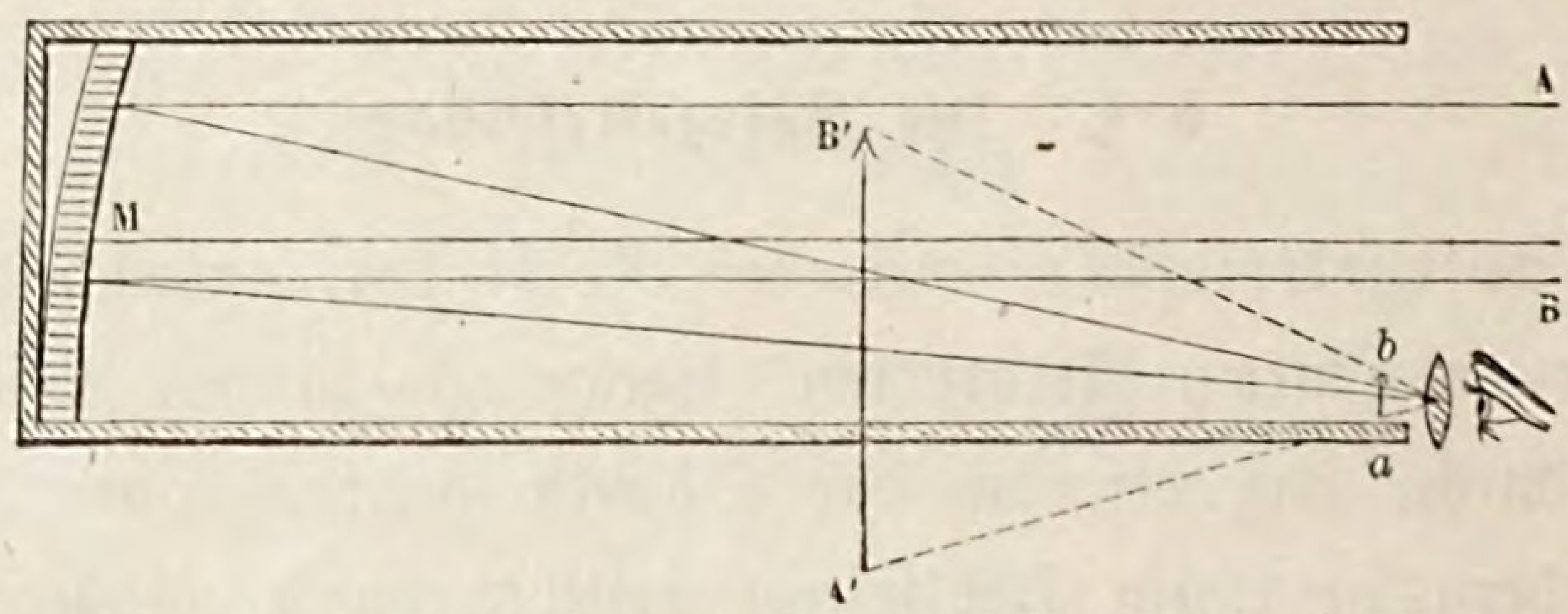


Fig. 190. Querschnitt des Spiegelteleskopes von Herschel.

Rücken zukehrt. Zugleich wird auch der Kopf des Beobachters immer einen Theil des Rohres verdecken, sodaß ein Stück des Hohlspiegels von den Strahlen, die vom fernen Gegenstande kommen, gar nicht getroffen wird; damit dieses Stück möglichst klein ist, hat Herschel die Einrichtung so getroffen, daß das Bild vom Hohlspiegel nach dem Rande des Rohres geworfen wird; doch auch bei dieser Einrichtung würde immer noch ein zu großer Bruchtheil vom Lichte verloren gehen, wenn die Spiegelfläche nicht eine außerordentlich große Ausdehnung besitzt. Herschel's Teleskop kann also nur dann angewendet werden, wenn der Spiegel, den man zur Verfügung hat, einen sehr großen Durchmesser besitzt. Das größte Instrument, welches Herschel selbst auf seiner Sternwarte in Slough errichtet hat, bestand aus einem Rohre von 39′ 4″ engl. (13^{m}) Länge, während der Spiegel einen Durchmesser von 4′ 10″ ($1,_{17}{}^{m}$) besaß. „Diese Dimensionen," sagt Arago, „sind ungeheuer im Vergleich zu denen, welche die bis dahin construierten Fernrohre besaßen. Gleichwohl werden sie denjenigen als sehr gering erscheinen, die davon sprechen gehört haben, daß man mit der Absicht umging in dem Teleskope von Slough einen Ball zu arrangiren. Die Verbreiter dieses oft gehörten Gerüchtes hatten den Astronomen Herschel mit dem Bierbrauer Meux und einen Cylinder, in welchem sich ein Mensch von sehr niedrigem

Wuchse kaum aufrecht erhalten kann, mit den Holztonnen verwechselt, deren Größe an die eines Hauses hinanreicht und die dazu bestimmt sind, daß in ihnen Bier gebraut und aufbewahrt werde."

Dieses ungeheure Fernrohr, das nicht weniger als 20 Centner wog, zu regieren war nicht leicht: man hängte dasselbe an Flaschenzügen auf, welche an einem gewaltigen Gerüste befestigt waren; dieses Gerüst aber stand auf einer Drehscheibe, welche auf Rollen ruhte, sodaß es im Kreise herumgedreht werden konnte. Um alle diese Bewegungen ausführen zu können waren zwei Arbeiter erforderlich, sodaß der Beobachter mit Einschluß des Assistenten, welcher die Uhr zu beobachten hatte, beständig drei Gehilfen bei sich haben mußte. Ueberdies erfordert die Beobachtung mit so mächtigen Instrumenten einen Himmel von sehr großer Reinheit, denn, wenn die Brechung der Lichtstrahlen in den verschiedenen Luftschichten die Bilder nur irgendwie verzerrt, so werden diese Unregelmäßigkeiten durch die starke Vergrößerung noch gesteigert, sodaß die Gegenstände, die man erblickt, in einer anderen Gestalt erscheinen, als sie wirklich besitzen. Herschel fand, daß in England jährlich nicht über hundert Stunden vorkommen, während deren man den Himmel mittels eines Fernrohres von 39 Fuß Länge bei tausendfacher Vergrößerung mit Erfolg beobachten kann. Aus dieser Thatsache schloß der berühmte Astronom weiter, daß man nicht weniger als achthundert Jahre gebrauchen würde, wenn man mit seinen Instrumenten den Himmel in der Weise durchforschen wollte, daß jeder einzelne Punkt eine wenn auch noch so kurze Zeit im Gesichtsfelde erscheint.

Ein noch viel gewaltigeres Fernrohr als das von Herschel benutzte hat der Lord Rosse im Park seines Schlosses Parsonstown in Ireland aufstellen lassen: der Metallspiegel dieses Instrumentes, der $1{,}83^{m}$ Durchmesser und ungefähr 17^{m} Brennweite besitzt, wiegt allein schon nahe an 80 Centner, während der ganze Apparat, Röhre und Spiegel, 208 Centner wiegt; die Vergrößerung kann bis auf das Sechstausendfache gesteigert werden. Allein eine so bedeutende Steigerung der Vergrößerung läßt sich nur bei sehr lichtstarken Gegenständen zur Anwendung bringen, wie bei den Fixsternen und einigen Nebelflecken: der Mond und die Planeten, welche uns nur reflectiertes Licht senden, können damit nicht gut beobachtet werden, sodaß man dieses gewaltige Instrument nur zur Erforschung des Fixsternhimmels, in diesem Falle aber auch mit

dem größten Erfolge angewendet hat. Tafel VII stellt dieses riesenhafte Fernrohr, wie auch das Bauwerk dar, durch welches es getragen wird.

Etwas weniger einfach als das Herschel'sche ist das früher erfundene Spiegelteleskop von Gregory (Fig. 191): bei ihm ist der große

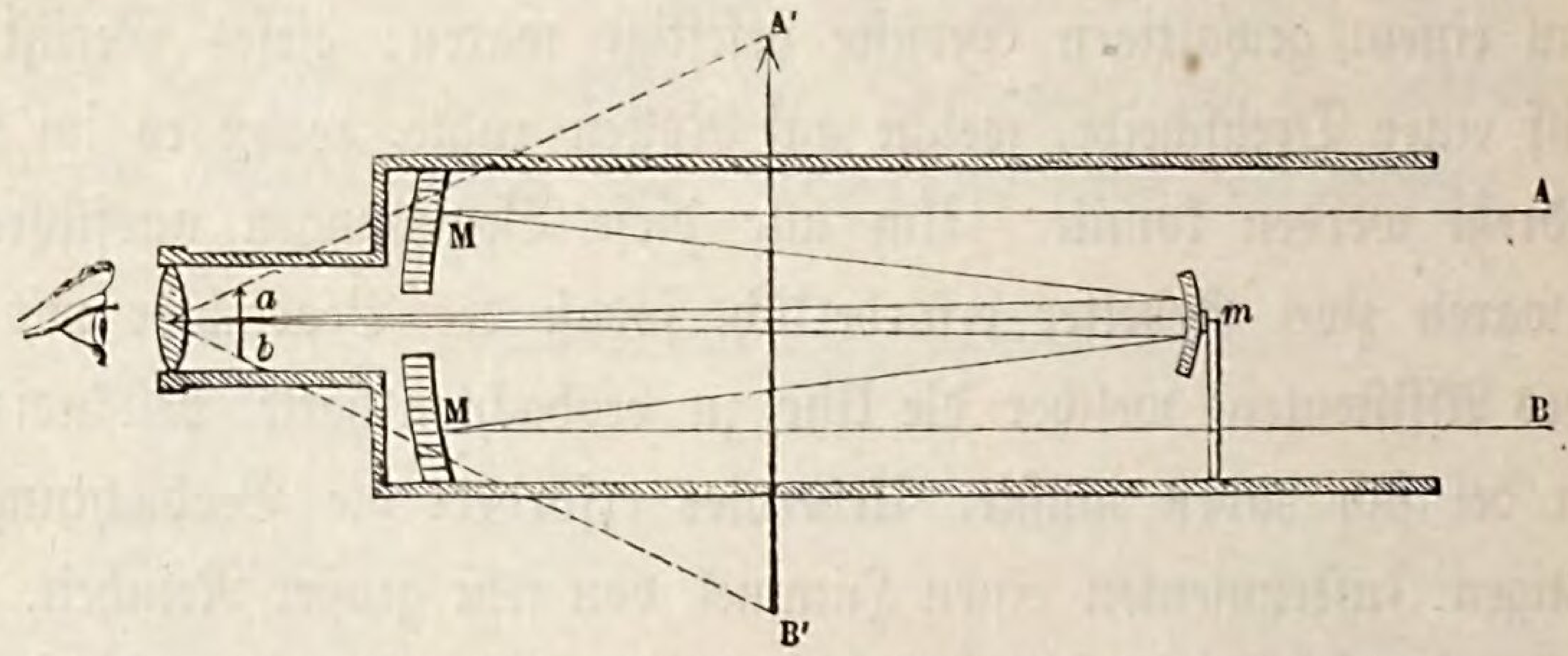
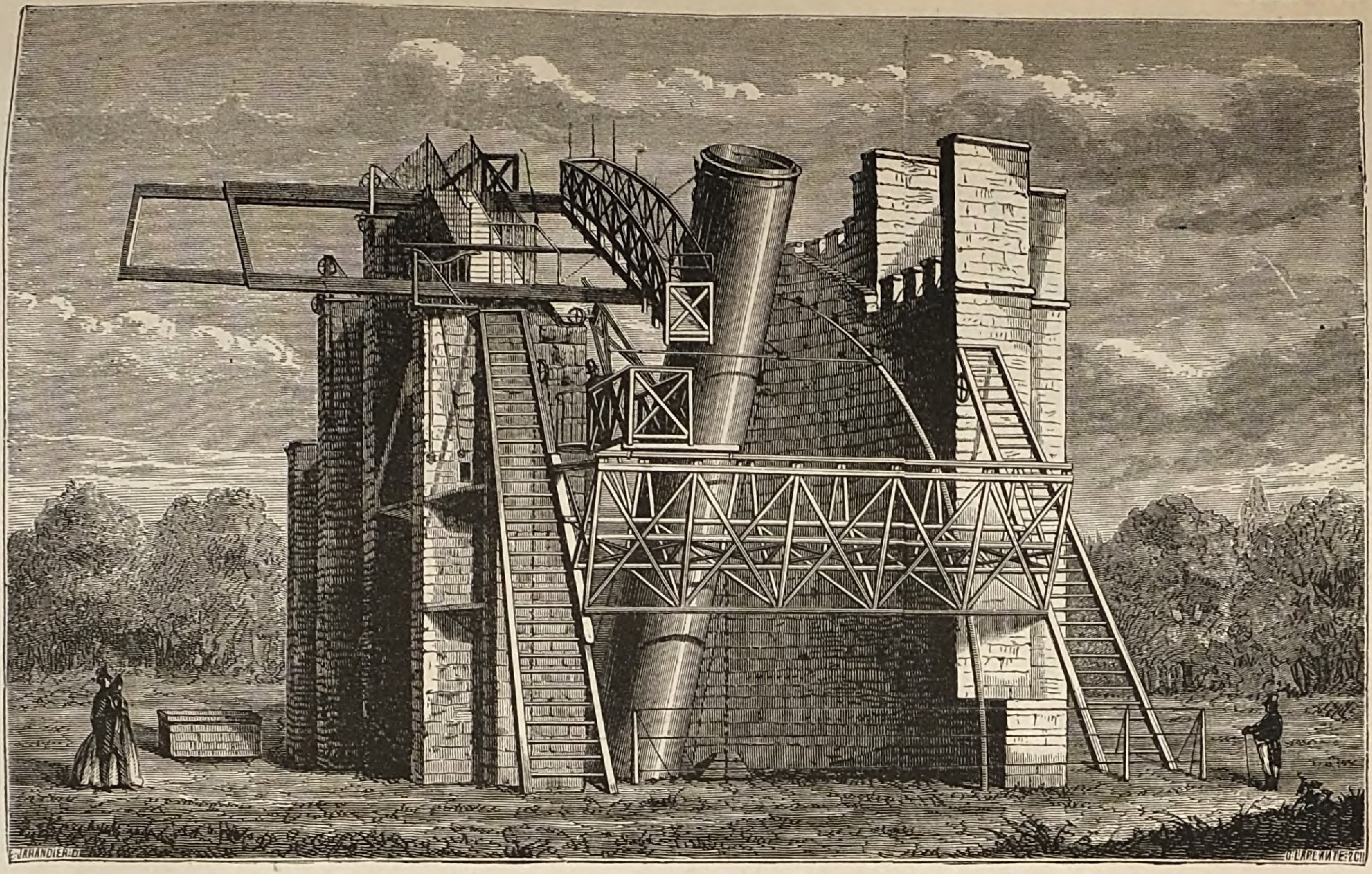


Fig. 191. Spiegelteleskop von Gregory: Durchschnitt.

Spiegel MM gerade im Grunde der Röhre befestigt; durch seine Vermittelung entsteht ein reelles, verkehrtes Bild, das in den Brennpunkt des Spiegels fällt, wenn der Gegenstand AB weit genug entfernt ist. Hinter diesem Bilde, das in der Zeichnung nicht angegeben ist, befindet sich ein zweiter, kleinerer Hohlspiegel m, für welchen das Bild als Object dient, sodaß er von ihm ein zweites reelles und nunmehr wieder aufrechtes Bild ab entstehen läßt: dieses letzte Bild betrachtet man durch eine Loupe, sodaß es als A'B' in der deutlichen Sehweite erscheint. Damit die Lichtstrahlen von dem kleinen Spiegel zum Oculare gelangen können, ist der große Spiegel in seiner Mitte durchbohrt und hinter dieser Oeffnung ist das Rohr des Oculares angesetzt, sodaß der Beobachter auch wirklich, wie bei den Refractoren, nach derselben Richtung sieht, in welcher sich der Gegenstand, nach dem er visiert, befindet und daß er nicht wie beim Herschel'schen Rohre durch seinen Kopf einen Theil der Lichtstrahlen aufhält. Dennoch wird die Lichtstärke bei diesem Rohre in fast noch höherem Grade verringert, einmal weil die große Spiegelfläche nicht vollständig, sondern gerade in ihrem mittleren Theile durchbrochen ist, dann aber hauptsächlich weil die Strahlen noch eine zweite Reflexion am kleinen Spiegel erleiden müssen. Diesem Uebelstande steht aber der Vortheil gegenüber, daß die Gregory'schen Fernrohre ein ziemlich großes Gesichtsfeld zu überblicken gestatten, sodaß es verhältnißmäßig leicht ist mit ihnen einzelne Gegenstände am Himmel



Spiegelteleskop des Lord Rosse zu Parsonstown.

aufzufinden; deshalb brachte man auch nur bei größeren derartigen Instrumenten zur Seite Sucher an. Da die Bilder bei diesem Teleskope aufrecht erscheinen, so kann man dasselbe auch als terrestrisches Fernrohr benutzen: damit nun die Bilder sich immer in der richtigen Entfernung befinden, muß der kleine Spiegel in die richtige Stellung gebracht werden, was mit Hilfe eines Stabes geschieht, in welchen Schraubenwindungen eingeschnitten sind, die den Träger des Spiegels bei der Umdrehung des Stabes verschieben. Für nahe Gegenstände muß der kleine Spiegel weiter entfernt, für entfernte aber mehr genähert werden; und ebenso muß der Kurzsichtige ihn etwas näher heranziehen als der Weitsichtige.

Ganz ähnlich eingerichtet wie das soeben besprochene ist auch das Teleskop von Cassegrain, nur daß bei ihm der kleine Spiegel ein Convexspiegel von schwacher Krümmung ist; derselbe wird so aufgestellt, daß er die vom Hohlspiegel zurückgeworfenen Strahlen vor ihrer Vereinigung zu einem reellen Bilde auffängt und sie so reflectiert, daß sie ein reelles Bild geben, das im Rohre ganz hinten zu liegen kommt und ebenfalls durch das Ocular betrachtet wird. Gregory's und Cassegrain's Reflectoren stehen also in ähnlichem Verhältnisse zu einander, wie Kepler's und Galilei's Fernrohr, und auch darin zeigt sich eine gewisse Uebereinstimmung, daß Cassegrain's Rohr viel kürzer sein kann, als Gregory's: nur darin besteht ein Unterschied in der wechselseitigen Be-

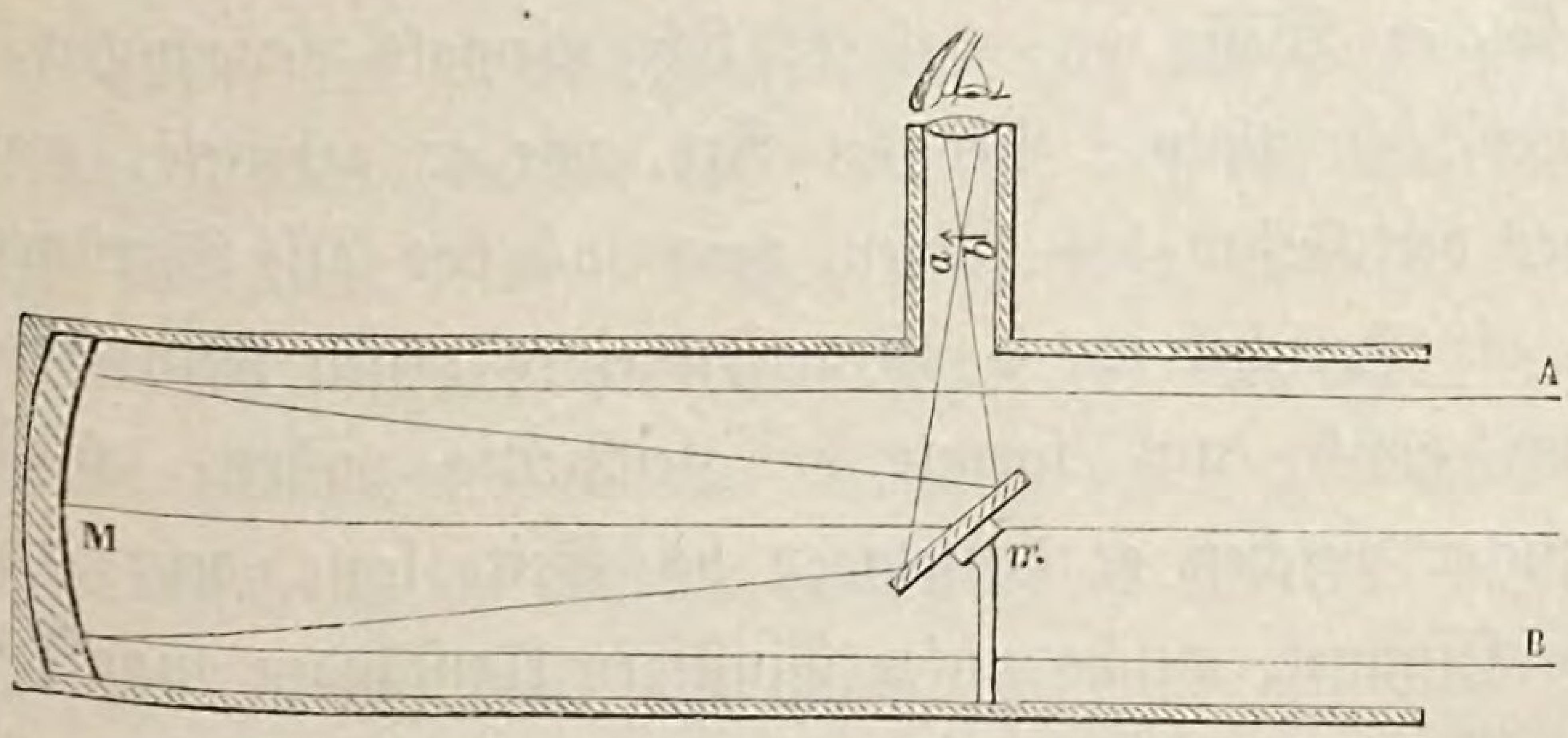


Fig. 192. Spiegelteleskop von Newton: Durchschnitt.

ziehung, daß Gregory's Rohr die Bilder aufrecht, Cassegrain's Rohr aber verkehrt giebt.

Eine sehr weite Verbreitung und große Wichtigkeit erlangte endlich das Teleskop von Newton (Fig. 192), bei welchem der Hohlspiegel M nicht durchbohrt ist, sondern die Strahlen nach einem Planspiegel m

wirft, welcher gegen die Axe unter einem Winkel von 45° geneigt ist und sich so nahe am Hohlspiegel befindet, daß die von letzterem convergent zurückgeworfenen Strahlen sich nicht vor ihm vereinigen können, sondern erst, nachdem sie noch eine Reflexion am Planspiegel erlitten haben, sich seitwärts in einem angesetzten Rohre zu einem Bilde ab vereinigen, welches durch das Ocular betrachtet wird. An Stelle des geneigten Spiegels ist es vortheilhafter ein Glasprima anzuwenden, dessen Querschnitt ein rechtwinkliges gleichschenkliges Dreieck ist: man stellt dasselbe so auf, daß die eine der beiden Flächen, die auf einander rechtwinklig sind, dem Spiegel M, die andere dem Oculare zugekehrt ist, sodaß die Strahlen, die vom Spiegel M kommen und in das Prisma eindringen, an der dritten Fläche totale Reflexion erleiden.

William Herschel hat für seine eigenen Beobachtungen eine ziemlich große Zahl von Fernrohren construiert, für welche er die Spiegel selbst verfertigte und polierte, und er hat sich in diesen Operationen, die immer lange Zeit in Anspruch nehmen und sehr große Geduld erfordern, eine staunenswerthe Geschicklichkeit erworben. Auf welche Weise er bei dieser Beschäftigung verfuhr, darüber spricht sich Arago folgendermaßen aus:

„Bevor man directe und sichere Mittel kennen lernte um den Spiegeloberflächen die Gestalt von Kegelschnitten zu geben, sah sich Herschel, wie alle Optiker, die ihm vorausgingen, genöthigt das gewünschte Ziel durch allmähliches Ausprobieren zu erreichen: nur stellte er seine Versuche in solcher Weise an, daß er sich niemals gezwungen sah einen Schritt zurück zu thun. Bei der Art, wie er arbeitete, war niemals das Bessere der Feind des Guten, was auch das alte Sprüchwort sagen mag. So oft Herschel die Construction eines neuen Fernrohres in Angriff nahm, goß*) und formte er gleichzeitig mehrere, vielleicht zehn Spiegel, unter welchen er denjenigen bei Seite legte, dem die Beobachtungen am Himmel, welche unter günstigen Umständen angestellt wurden, den ersten Rang anwiesen; die anderen neun aber unterwarf er einer neuen Bearbeitung. Sobald sich nun vielleicht einer derselben dem zurückgelegten Spiegel überlegen zeigte, so trat er an dessen Stelle, bis auch

*) Das Material, aus welchem man die Spiegel für Fernrohre fertigt, das Spiegelmetall, ist eine Bronze aus 67 Th. Kupfer und 33 Th. Zinn. Diese Mischung hat einen gelblichen Schimmer, nimmt aber eine sehr schöne Politur an. Häufig setzt man der Masse noch kleine Mengen von Messing, Silber, Arsenik und auch Platin zu.

ihm durch einen dritten der Rang streitig gemacht wurde, und so fort. Will man wissen, in welch großartigem Maßstabe Herschel diese Arbeiten ausführte selbst in der Zeit, als er sich in Bath nur noch eigentlich als Liebhaber mit der Astronomie beschäftigte, so mag erwähnt werden, daß er bis zu 200 Spiegel von 7′ engl. (2,13 m), 150 von 10′ (3,05 m) und ungefähr 80 von 20′ (6,09 m) Brennweite verfertigte."

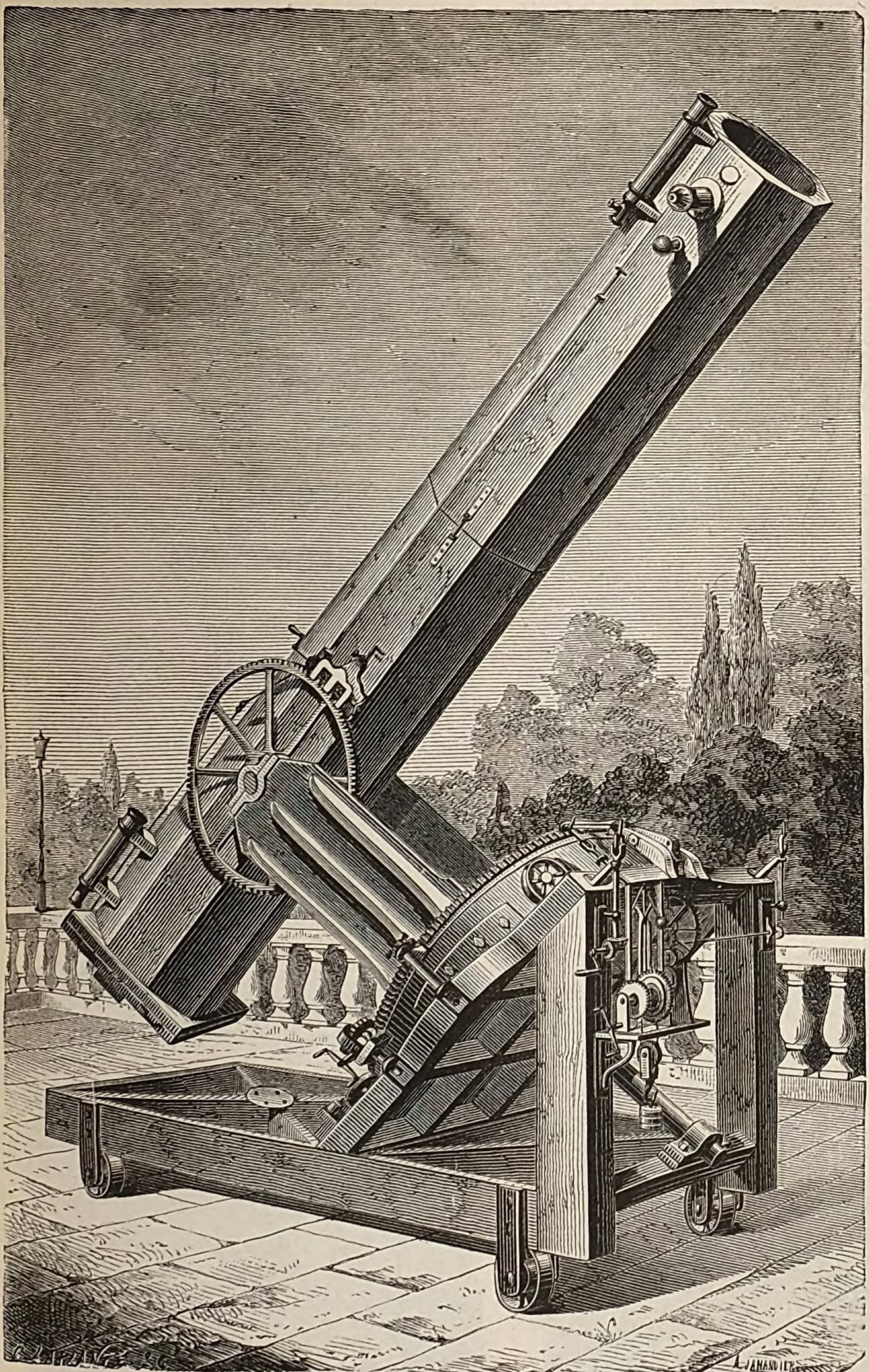
„Jedesmal, wenn Herschel unternimmt einen Teleskopspiegel zu polieren, sagt Lalande, hat er für zehn, zwölf oder auch vierzehn Stunden ununterbrochen zu arbeiten. Er verläßt sein Werk nicht einen Augenblick, selbst nicht um zu essen, und erhält aus der Hand seiner Schwester die Nahrungsmittel, ohne welche man eine so lange Anstrengung nicht aushalten könnte: um keinen Preis würde sich Herschel von seiner Arbeit hinwegbegeben; nach seiner Ansicht würde dies so viel heißen, als sie verderben."

Die Fernrohre mit Metallspiegel zeigen einige große Uebelstände: einmal hat das Objectiv ein sehr bedeutendes Gewicht, sobald die Oeffnung des Rohres nur einigermaßen beträchtlich ist, und dann ist es nothwendig, daß der Spiegel öfters von Neuem poliert werde, weil er unter dem Einflusse der atmosphärischen Feuchtigkeit sich trübt; dieses Polieren ist aber nicht allein eine schwierige und zeitraubende Arbeit, sondern durch dasselbe kann auch leicht die Krümmung des Spiegels ein wenig verändert werden. Diese Uebelstände zu vermindern und zugleich dem Fernrohre seinen hauptsächlichsten Vorzug vor dem astronomischen Fernrohre zu erhalten, welcher darin besteht, daß bei ihm die sphärische Abweichung vermieden wird, ist dem berühmten Physiker Foucault gelungen. Um das Gewicht des Objectives zu verringern verfertigt es der Genannte aus Glas statt aus Metall, und um dasselbe frei von sphärischer Abweichung zu machen unterwirft er es einer besonderen Bearbeitung, durch welche seine Oberfläche fast mit absoluter Genauigkeit die parabolische Form erhält. Diesen Hohlspiegel aus Glas versieht er mit einem ganz feinen Ueberzug von Silber, welcher in derselben Weise aus einer Silberlösung darauf niedergeschlagen wird, die wir bei Gelegenheit der Planspiegel angedeutet haben; sollte durch den Gebrauch dieser Ueberzug allmählich schadhaft werden, so läßt er sich leicht erneuern, ohne daß die geometrische Gestalt des Spiegels irgendwie eine Aenderung erleidet.

Im Jahre 1862 hat Foucault ein solches Instrument gebaut, dessen Einrichtung mit der des Newton'schen Fernrohres übereinstimmt (Tafel VIII), dasselbe ist auf der Sternwarte zu Marseille aufgestellt und hat dort bereits der Wissenschaft große Dienste geleistet. Das Objectiv hat einen Durchmesser von 80 ^{cm} und eine Brennweite von 4,50 ^{m}; das Ocular aber hat genau die Einrichtung eines zusammengesetzten Mikroskopes und ist ebenfalls frei von jeder sphärischen und chromatischen Abweichung. Das Fernrohr ist, wie man sich ausdrückt, parallaktisch aufgestellt, d. h. es läßt sich leicht um eine Axe drehen, welche mit der Erdaxe parallel ist, sodaß man durch diese Drehung die Gestirne während der täglichen Umdrehung des Himmels leicht verfolgen kann; wird ein Uhrwerk, das sich am Rohre befindet, ausgelöst, so bewirkt dasselbe diese Umdrehung mit einer Geschwindigkeit, welche der scheinbaren Geschwindigkeit des Himmels gleich kommt, sodaß ein Gestirn, auf welches man das Rohr einmal gerichtet hat, auch beständig im Gesichtsfelde bleibt.

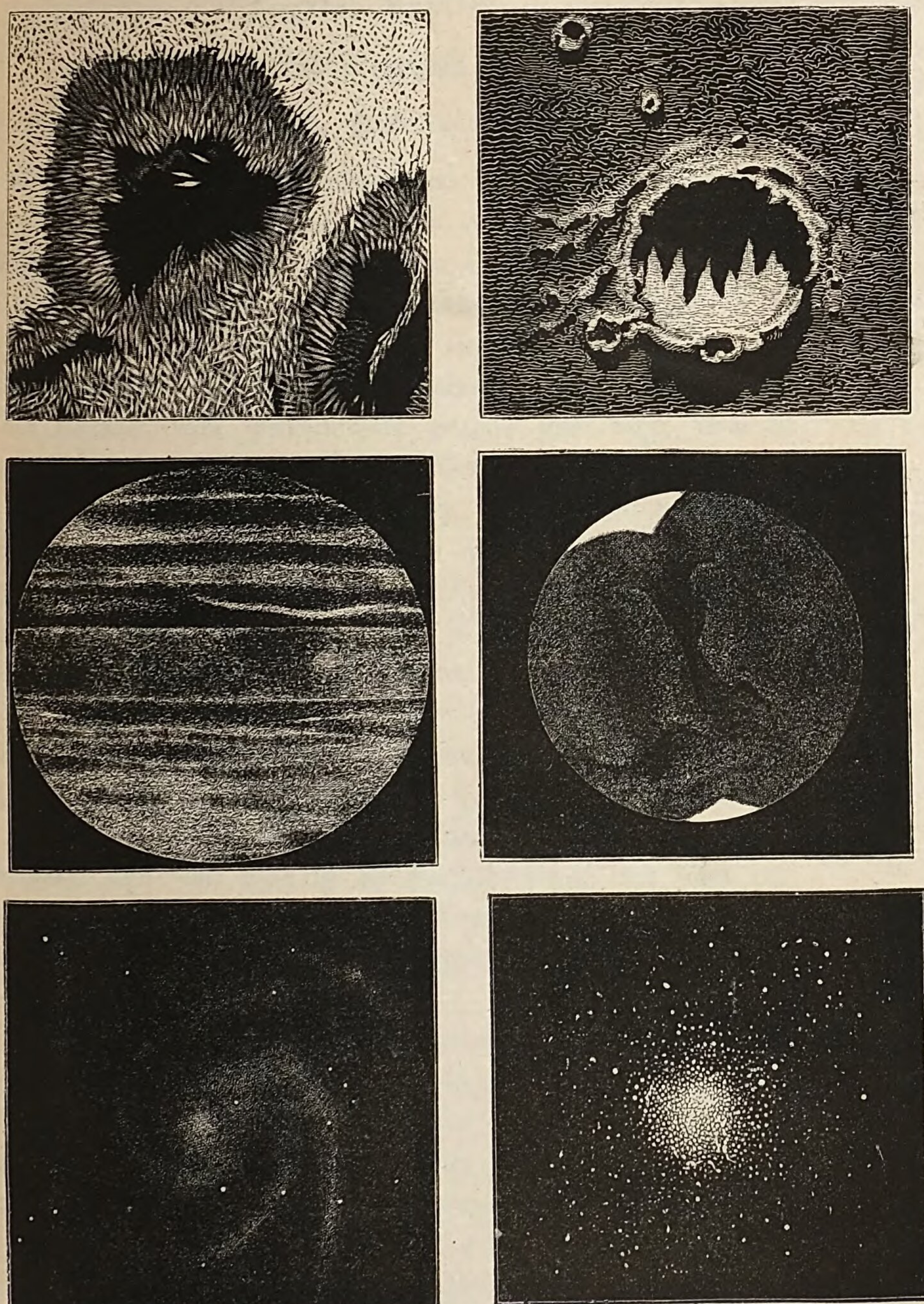
Wollte man sich eine genaue Vorstellung davon machen, welche wichtigen Dienste die Erfindung der Fernrohre seit zwei Jahrhunderten den Naturwissenschaften und besonders der Astronomie geleistet hat, so würde man die ganze Geschichte dieser Wissenschaften zusammenfassen müssen: auf jeder Seite dieser Geschichte würde man Gelegenheit finden die Größe der erlangten Resultate zu bewundern. Dabei darf man sich nicht beschränken auf die wunderbaren Erscheinungen, welche dieses Instrument unseren Blicken am Himmel erschlossen, nicht auf die Fülle glänzender Welten, die es zu unserer Kenntniß gebracht hat, sondern ganz besonders müssen wir uns auch vergegenwärtigen, daß die Genauigkeit der Beobachtung in der Astronomie, wie auch in anderen verwandten Wissenschaften durch Anwendung dieser Apparate außerordentlich gesteigert worden ist, und daß damit die Theorie der Gesetze, nach denen die Bewegungen im Weltenraume erfolgen, zu immer größerer Vollendung gelangt ist.

Einige merkwürdige Erscheinungen am Himmelsgewölbe, auf der Oberfläche der Sonne, des Mondes und der Planeten, sowie aus der Welt der Fixsterne, die durch das Fernrohr zu unserer Kenntniß gelangt sind, haben wir auf Tafel IX zusammengestellt.



Teleskop mit Silberspiegel von Foucault.

Tafel IX.



Astronomische Objecte durch das Fernrohr betrachtet.

1. Sonnenflecken. — 2. Mondskrater. — 3. Die Oberfläche des Jupiters mit dem Streifen. — 4. Die Oberfläche des Mars mit den Polen, Continenten und Meeren. — 5. Ein Nebelfleck. — 6. Ein Sternhaufen.

Fünftes Kapitel.

Das Stereoskop.

§ 1. Das stereoskopische Sehen. Reflexionsstereoskop von Wheatstone.

Wenn wir irgend welche Gegenstände, die sich in nicht gar zu großer Entfernung von uns befinden, mit beiden Augen betrachten, so erblicken wir dieselben nicht, wie wir etwa ein Bild sehen, sie erscheinen uns nicht wie in einer Ebene liegend, sondern der blose Anblick bringt uns schon zum klaren Bewußtsein, daß die Gegenstände erhaben sind, daß sie von unseren Augen einen verschiedenen Abstand haben und daß sie von einander durch Zwischenräume getrennt sind: schon durch die einfachen Vorgänge beim Sehen mit beiden Augen kommen uns die drei Dimensionen des Raumes vollständig zum Bewußtsein. Warum können nun gemalte Bilder niemals eine ähnliche Empfindung hervorrufen, so groß auch die Verdienste des Künstlers sein mögen, der sie geschaffen hat, so groß auch die Treue in der Beobachtung der Perspective, in der Wiedergabe der Gestalt, der Färbung und Schattierung der Gegenstände sein mag? Wohl haben manche Künstler eine große Meisterschaft in der Behandlung der sogenannten Luftperspective erlangt, d. h. sie verstehen in einer Landschaft die Töne der Luft so abzustufen, daß die Unterschiede in der räumlichen Entfernung sich sehr deutlich hervorheben: aber auch dann ist die Darstellung noch weit davon entfernt den Eindruck des Plastischen, des Erhabenen in demselben Maße hervorzurufen, wie ihn die direct beobachteten Gegenstände der Natur hervorbringen.

Lange Zeit ist man sich nicht klar geworden, worin dieser Unterschied liegt, der sich beim Anblick eines Bildes und der wirklichen Gegenstände, welche das Bild darstellt, bemerklich macht, und doch giebt es ein sehr einfaches Mittel, durch welches man sich diesen Unterschied zum Bewußtsein bringen kann. Hat man nämlich einen nahen Gegenstand mit beiden Augen betrachtet, so schließe man das eine Auge, und sofort wird der Gegenstand nicht mehr in demselben Maße plastisch erscheinen wie zuvor: der Anblick unterscheidet sich nicht mehr so wesentlich von dem eines Bildes, und die verschiedenen Oberflächen der Körper, die sich unserem Auge darbieten, scheinen alle in eine Ebene zu fallen.

Für entfernte Gegenstände ist zwar dieser Unterschied zwischen dem Anblick, den sie gewähren, wenn man sie mit einem oder zwei Augen betrachtet, ganz unmerklich, er wird aber um so auffälliger, je mehr sich die Objecte dem Auge nähern.

Um uns darüber klar zu werden, worin dieser Unterschied liegt, denken wir uns einen Würfel oder eine vierseitige Pyramide (Fig. 193) auf einem Tische nahe vor unseren Augen so aufgestellt, daß sie sich in der Fläche befinden, welche durch die Mitte unseres Gesichts geht. Blicken wir mit beiden Augen nach diesen Körpern, so werden sie sich

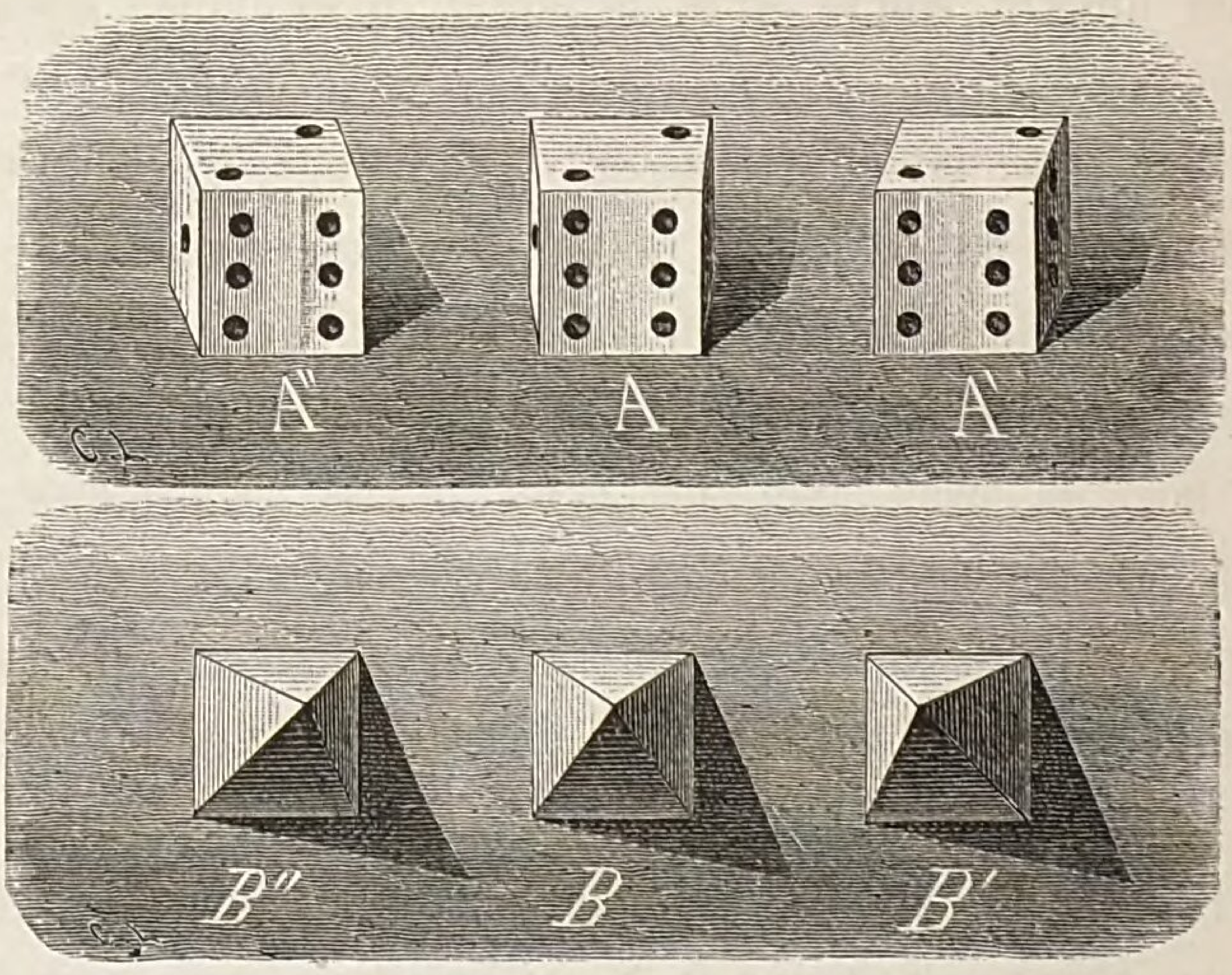
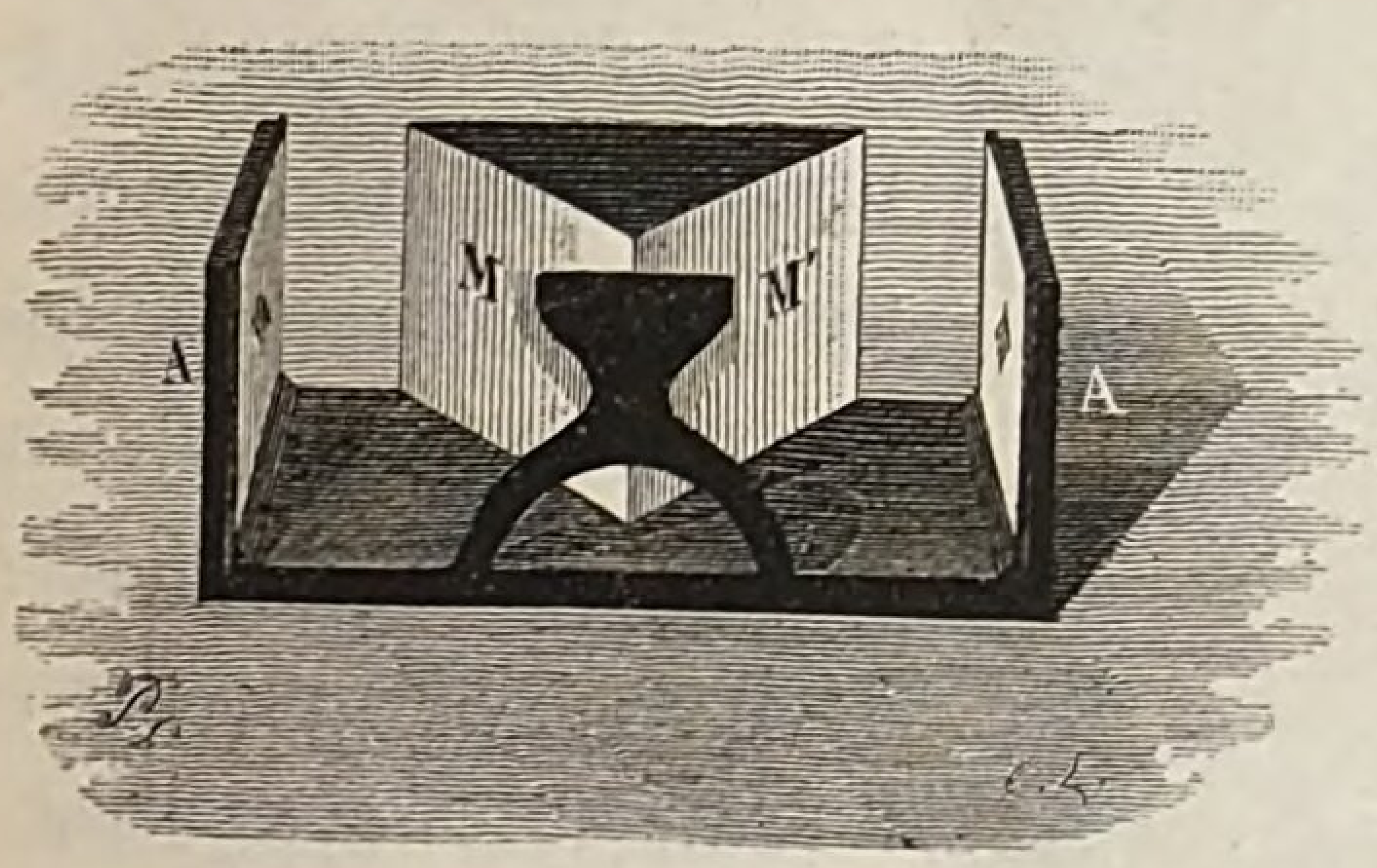


Fig. 193. Unterschied beim Sehen mit einem und mit zwei Augen.

uns so zeigen, wie bei A und B dargestellt ist; schließen wir dagegen das linke Auge, so ändert sich der Anblick in der Weise, wie A' und B' zeigt: die rechts liegenden Flächen erscheinen viel größer als zuvor, während die links liegenden verkleinert sind oder ganz verschwinden; schließt man das rechte Auge, so wird der Anblick umgekehrt sich so darstellen, wie bei A'' und B''. Dieselben Beobachtungen lassen sich an jedem beliebigen Gegenstande in gleicher Weise anstellen, und man wird immer bemerken, daß man mit dem rechten Auge Theile überblickt, die dem linken verborgen bleiben und umgekehrt. Hieraus folgt nothwendig, daß die Bilder, welche auf den Netzhäuten der beiden Augen entstehen, von einander verschieden sind, und man sollte meinen, daß man infolge dessen jeden Gegenstand doppelt sehen müsse: allein wohl

nur durch die Gewöhnung von Klein auf verschmelzen sich diese beiden Bilder, welche auf entsprechende Stellen der beiden Netzhäute fallen, in unserer Vorstellung zu einem Ganzen, das aber in seiner Erscheinung die Eigenschaften plastisch erhabener Gebilde besitzt: der vollständige, binoculare Anblick umfaßt also die beiden verschiedenen Bilder, während von einem Gemälde die Bilder, die in beiden Augen entstehen, einander vollständig gleich sind. Noch in einer Beziehung unterscheidet sich der Anblick der Bilder von dem wirklicher Gegenstände, dadurch nämlich, daß sich bei letzteren die durchsichtigen Theile des Auges für die verschiedenen Entfernungen verschieden einstellen müssen, daß man also niemals gleichzeitig nahe und entfernte Objecte scharf sehen kann: bei Gemälden ist dagegen eine solche verschiedene Einstellung des Auges oder Accomodation nicht erforderlich, da bei ihnen alles in einer Ebene liegt. Das Sehen mit beiden Augen, durch welches sich die Gegenstände erst in ihrer Körperlichkeit zeigen, bezeichnet man als *stereoskopisches Sehen*.

Diese Betrachtungen über das Wesen des stereoskopischen Sehens haben zuerst den Engländer Wheatstone darauf geführt einen Apparat zu construieren, durch welchen eigens dazu angefertigte Bilder den Schein der Körperlichkeit erhalten: dieser Apparat aber führt den Namen des *Reflexionsstereoskopes* (Fig. 194) und besitzt folgende Einrichtung. Auf einem Brete sind zwei Spiegel M und M′ senkrecht so errichtet,



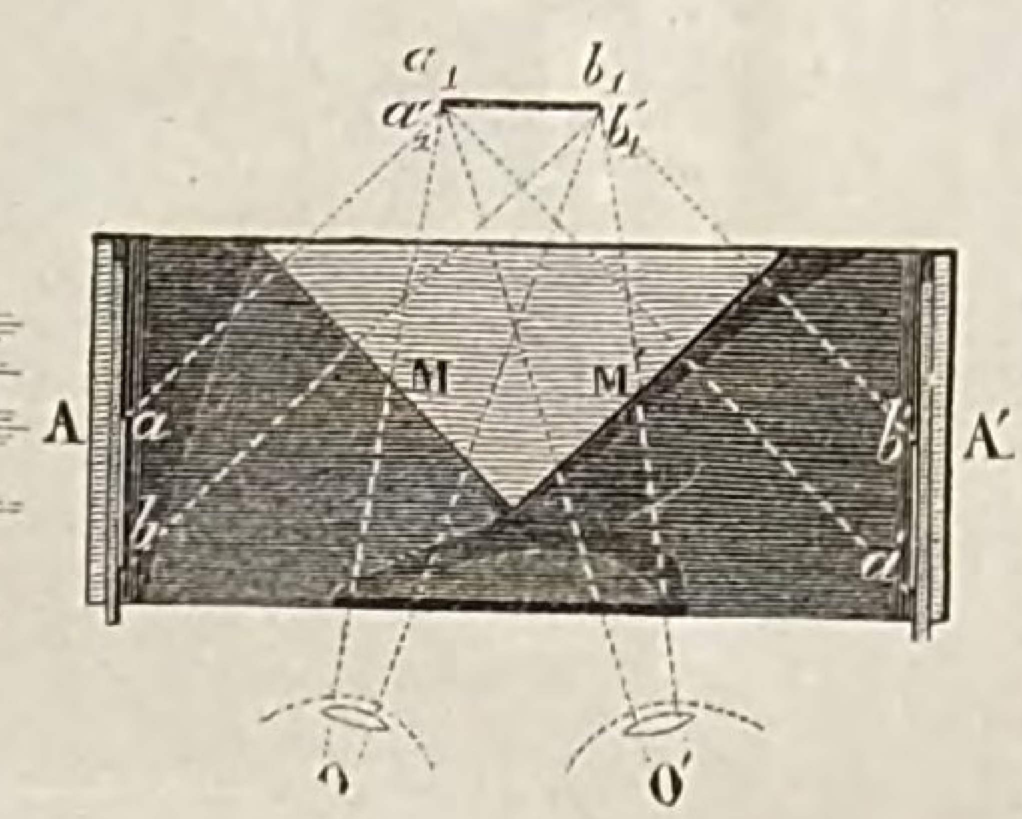


Fig. 194. Reflexionsstereoskop von Wheatstone.

daß sie mit der Seitenkante des Bretes Winkel von 45° bilden: ihnen gegenüber stehen zwei aufrechte Seitenwände A und A′, die mit kleinen Leisten versehen sind, in welche zwei Ansichten desselben Gegenstandes, derselben Landschaft oder Gruppe, eingeschoben werden können. Von jeder dieser Ansichten wird nun in demjenigen Spiegel, dem sie gegen-

über steht, ein virtuelles Bild entstehen, welches hinter dem Spiegel, symmetrisch zur Ansicht selbst liegt: so giebt a b im Spiegel M das Bild $a_1 b_1$, und a′ b′ in M′ das Bild $a_1' b_1'$, welches letztere bei geeigneter Aufstellung der Ansichten mit ersterem zur Coincidenz gebracht werden kann. Nähert man also die Augen O und O′ den Spiegeln, und bringt man zwischen beiden noch eine Scheidewand an, welche den Spiegel M′ für das Auge O und den Spiegel M für das Auge O′ verdeckt, so werden die Bilder auf den beiden Netzhäuten in derselben Weise entstehen, als ob $a_1 b_1$ und $a_1' b_1'$ nur einen einzigen Gegenstand bildeten, von dem das Licht ausgeht. Damit uns nun dieser Gegenstand auch wirklich körperlich erscheine, ist es nothwendig, daß sich die beiden Bilder in der Weise von einander unterscheiden, wie wir weiter oben erwähnt haben: a b muß also den Körper so darstellen, wie er sich zeigt, wenn er etwas mehr von der linken, a′ b′ aber, von der rechten Seite her erblickt wird. Ist diese Bedingung erfüllt, so glauben wir nicht mehr eine einfache Zeichnung zu erblicken, sondern eine wirklich plastische Darstellung der Körper, die um so lebhafter und deutlicher hervortritt, mit je größerer Treue die Darstellungen wiedergegeben sind, und je besser die Vertheilung des Schattens in allen Einzelheiten getroffen ist. Wendet man nur schwarze Zeichnungen an

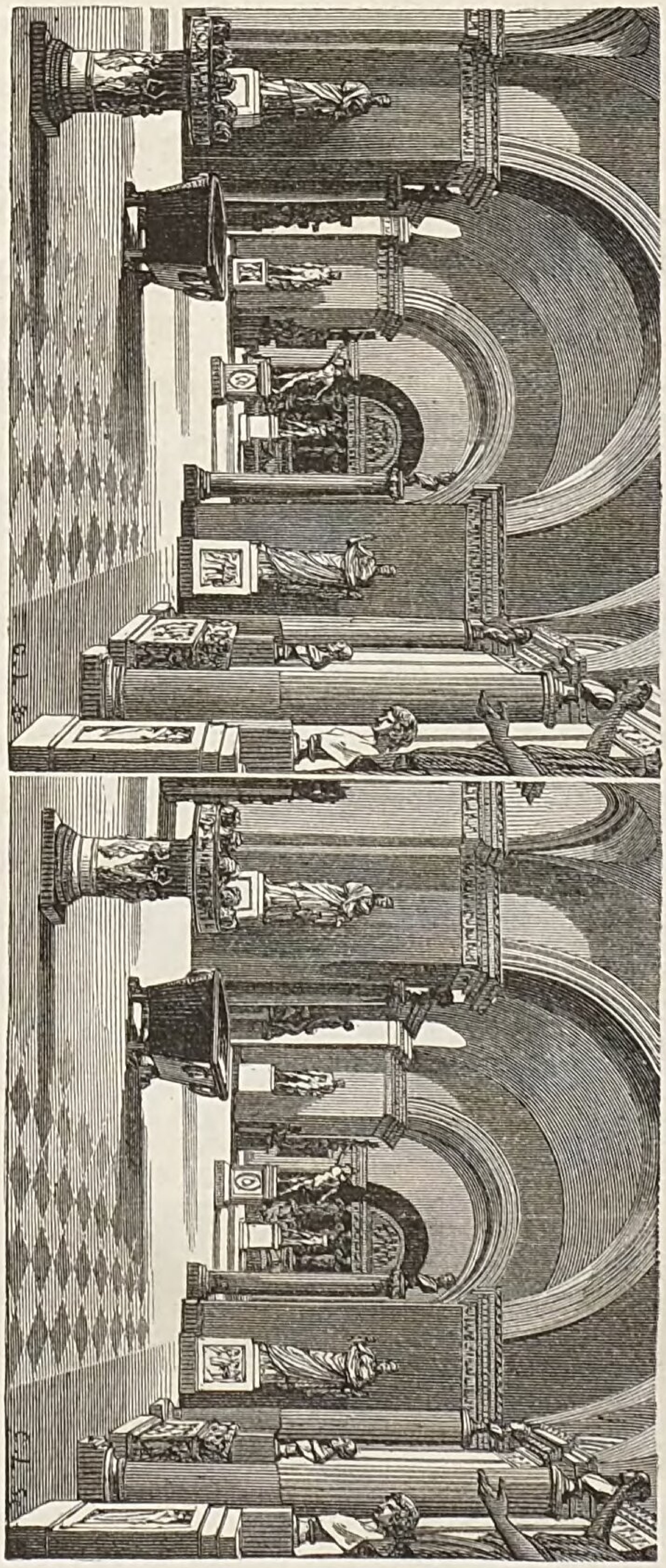


Fig. 195. Stereoskopische Ansicht eines Saales des Museums im Louvre, nach einer photographischen Aufnahme.

oder besser noch photographische Aufnahmen, so erscheinen die Gegenstände wie aus Marmor gebildet, und es eignet sich diese Art der Wiedergabe ganz besonders für die Werke der Architectur und der Sculptur.

Manchem gelingt es auch ohne stereoskopischen Apparat die für denselben construierten Bilder so zu betrachten, daß sie ihm den Eindruck des Körperlichen machen: will man dies versuchen, so lege man die beiden zusammengehörigen Ansichten dicht neben einander, so wie es Fig. 195 zeigt, errichte zwischen ihnen eine Scheidewand aus Holz oder Pappe, oder auch nur ein Blatt Papier, und stelle sich so auf, daß für jedes Auge die Ansicht, die nicht für dasselbe bestimmt ist, durch die Wand verdeckt wird. Blickt man nun unverwandt nach den Ansichten, so gelingt es bisweilen den Augen nach einiger Zeit eine solche Stellung zu geben, daß sich die Bilder decken und die dargestellten Gegenstände stereoskopisch erscheinen lassen. Auf alle Fälle ist dieser Versuch, wenn er überhaupt gelingt, für die Augen sehr anstrengend und ermüdend, und es ist immer vorzuziehen, daß man einen Apparat benütze, zumal da die jetzt zur Anwendung gebrachten Instrumente gegenüber dem ursprünglichen Wheatstone'schen eine bedeutende Vervollkommung erlangt haben.

§ 2. Stereoskope nach Brewster und Helmholtz. Pseudoskop.

Bringt man irgend einen Gegenstand zu nahe an das Auge heran, so kann derselbe nur mit großer Anstrengung unseres Sehvermögens deutlich erblickt werden, man kann sich aber in diesem Falle dadurch helfen, daß man zwischen Auge und Gegenstand eine Loupe einschaltet, welche das Bild in die deutliche Sehweite rückt: in gleicher Weise kann man aber auch bei dem im vorigen Paragraphen zuletzt erwähnten Versuche die Beobachtung erleichtern, nur muß man für jedes Auge eine besondere Loupe anwenden. Hierauf beruht das Stereoskop von Brewster (Fig. 196), welches jetzt die größte Verbreitung gefunden hat. Dasselbe besteht aus zwei Gläsern A A', welche als Theile einer prismatischen Linse angesehen werden können, und durch welche hindurch die beiden Ansichten von den Augen O und O' betrachtet werden. Dadurch, daß die Gläser etwas geneigt sind, werden die Bilder der Ansichten nicht allein weiter hinaus geschoben, sondern auch etwas zur Seite gerückt, sodaß das Bild eines Punktes C der einen Ansicht mit dem Bilde des

entsprechenden Punktes C′ der anderen Ansicht in einem Punkte C_1 zusammenfällt; dasselbe gilt für alle anderen Punkte der beiden Ansichten, sodaß sich dieselben in $a_1 b_1$ verschmelzen: wenn also die beiden Ansichten in der früher angegebenen Weise aufgenommen sind, so werden die Augen Eindrücke erhalten, als wenn das Licht von einem wirklichen Körper ausginge. Am besten lassen sich dergleichen Ansichten auf photographischem Wege anfertigen, wenn man von den Gegenständen zwei verschiedene Aufnahmen macht von Standpunkten aus, welche zu den Gegenständen eine ähnliche Lage haben, wie sie unsere Augen schließlich gegen das Bild erhalten sollen.

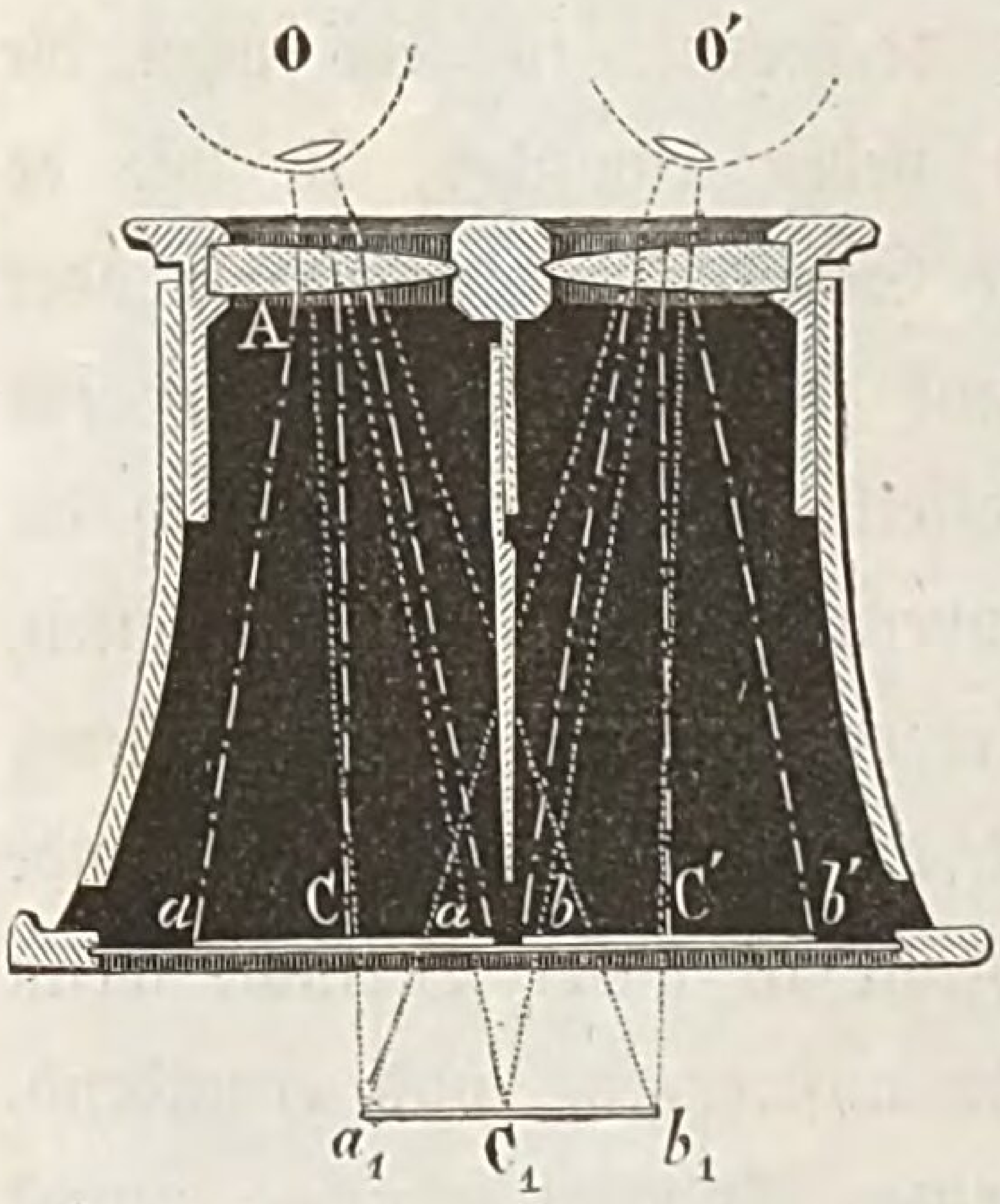


Fig. 196. Stereoskop von Brewster. Durchschnitt.

Es ist von Wichtigkeit, daß man die beiden Bilder in gleicher Weise erleuchtet, was man dadurch bewirkt, daß man die Seitenöffnung des Apparates, durch welche das Licht einfällt, so stellt, daß sie zur Richtung der Lichtstrahlen senkrecht steht, oder daß man die Bilder durch einen Spiegel, den man schräg über dieser Oeffnung aufstellt, beleuchten läßt. Handelt es sich um Glasphotographien, so genügt es, daß man den Apparat dem Fenster oder der Lampe gegenüber hält, sodaß das Licht von der Rückwand her scheint, während man die Seitenöffnung schließt: für diesen Fall ist die Rückwand des Apparates aus einer mattgeschliffenen Glastafel gebildet, durch welche das Licht gleichmäßig über das Bild vertheilt wird, ohne daß man Gegenstände, die sich außerhalb des Apparates befinden, durch sie hindurch erkennen könnte.

Das Stereoskop von Brewster bewirkt nicht allein, daß die Bilder auf unser Auge den Eindruck erhabener Gegenstände machen, sondern es gewährt zugleich den Vortheil der Loupen, indem es die Bilder zugleich vergrößert erscheinen läßt und dadurch gestattet, daß man die Einzelheiten an den dargestellten Gegenständen genauer untersuchen kann. Um nun diesen Zweck noch besser zu erreichen, um also die Vergrößerung zu steigern und die Schärfe der Bilder zu erhöhen, hat Helmholtz an Stelle der prismatischen Gläser Systeme von Linsen eingeführt, welche wie ein-

fache Mikroskope wirken (Fig. 197). Außerdem sind am Stereoskope von Helmholtz noch mehrere Schrauben angebracht, durch welche die beiden Gläser nach Rechts oder Links verschoben werden können, eine Einrichtung, welche sich dann nützlich erweist, wenn die beiden Ansichten

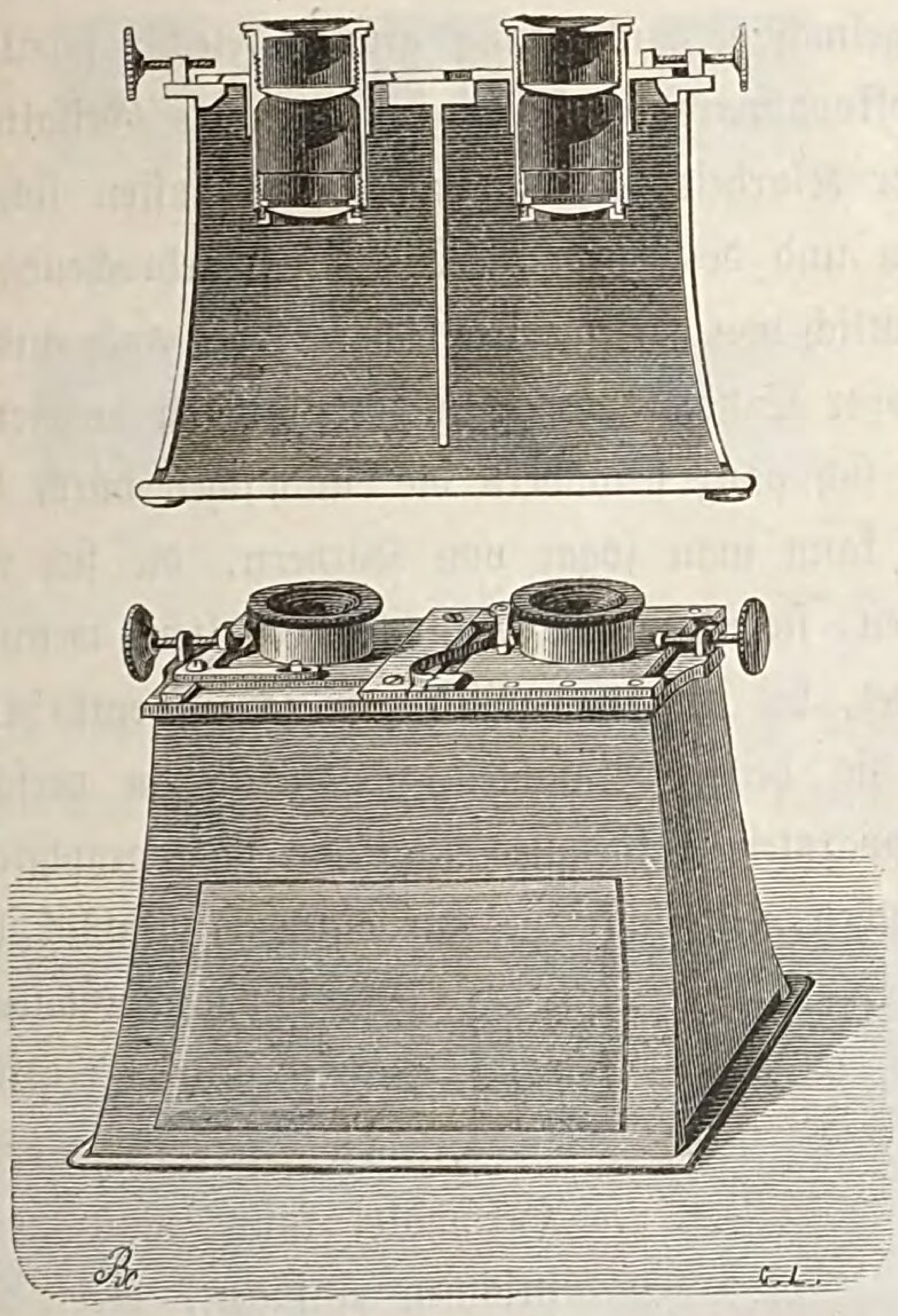


Fig. 197. Stereoskop von Helmholtz.

nicht genau so neben einander liegen, daß der Abstand der entsprechenden Punkte dem Abstande beider Augen gerade gleich ist. Dadurch, daß man die Röhren, welche die Linsen tragen, weiter herausziehen kann, ist es auch möglich, den Apparat für jedes Auge einzustellen, sodaß dieses Instrument viel vollkommener wirkt, als das einfachere Stereoskop von Brewster.

Als Gegenstände für stereoskopische Darstellung eignen sich zunächst besonders Werke der Sculptur, welche durch diese Apparate betrachtet in erstaunlicher Weise körperlich erhaben erscheinen, sodaß bei ihnen die Täuschung den höchsten Grad erreicht. Dann aber sind vorzüglich solche Gegenstände sehr geeignet, die sich nicht gut durch einfache bildliche

Darstellung wieder geben lassen, wie z. B. sehr unregelmäßig gestellte Felsblöcke, und ganz besonders Gletscherpartien mit ihren Spalten, welche ihre Beleuchtung durch die Strahlen erhalten, die nur durch die halbdurchsichtigen Eismassen hindurch zu ihnen gelangen können. Betrachtet man ein solches Gletscherbild mit blosem Auge, so erscheint es fast nur wie eine unregelmäßige Anhäufung grauer Flecke: sobald man es aber in den Stereoskopapparat einführt, so treten die Gestalten der Eisblöcke in wunderbarer Klarheit hervor, und ebenso lassen sich die Wirkungen des reflectierten und des durch die Eismassen gebrochenen und zerstreuten Lichtes sehr deutlich von einander trennen. Aber auch andere Landschaftsbilder von großer Schönheit werden jetzt vielfach angefertigt, und unter ihnen zeichnen sich ganz besonders die Lamy'schen durch hohe Vollendung aus. Endlich kann man sogar von Körpern, die sich in mäßiger Bewegung befinden, stereoskopische Ansichten erhalten, wenn man ein Verfahren anwendet, bei dem das Bild sehr schnell entsteht; man muß in diesem Falle die beiden Ansichten gleichzeitig in verschiedenen photographischen Apparaten aufnehmen und die photographischen Platten so empfindlich machen, daß man sie nur einen Augenblick dem Lichte auszusetzen braucht: so giebt es z. B. sehr schöne Ansichten des sanft bewegten Meeres, auf denen sich jede einzelne Welle deutlich abhebt.

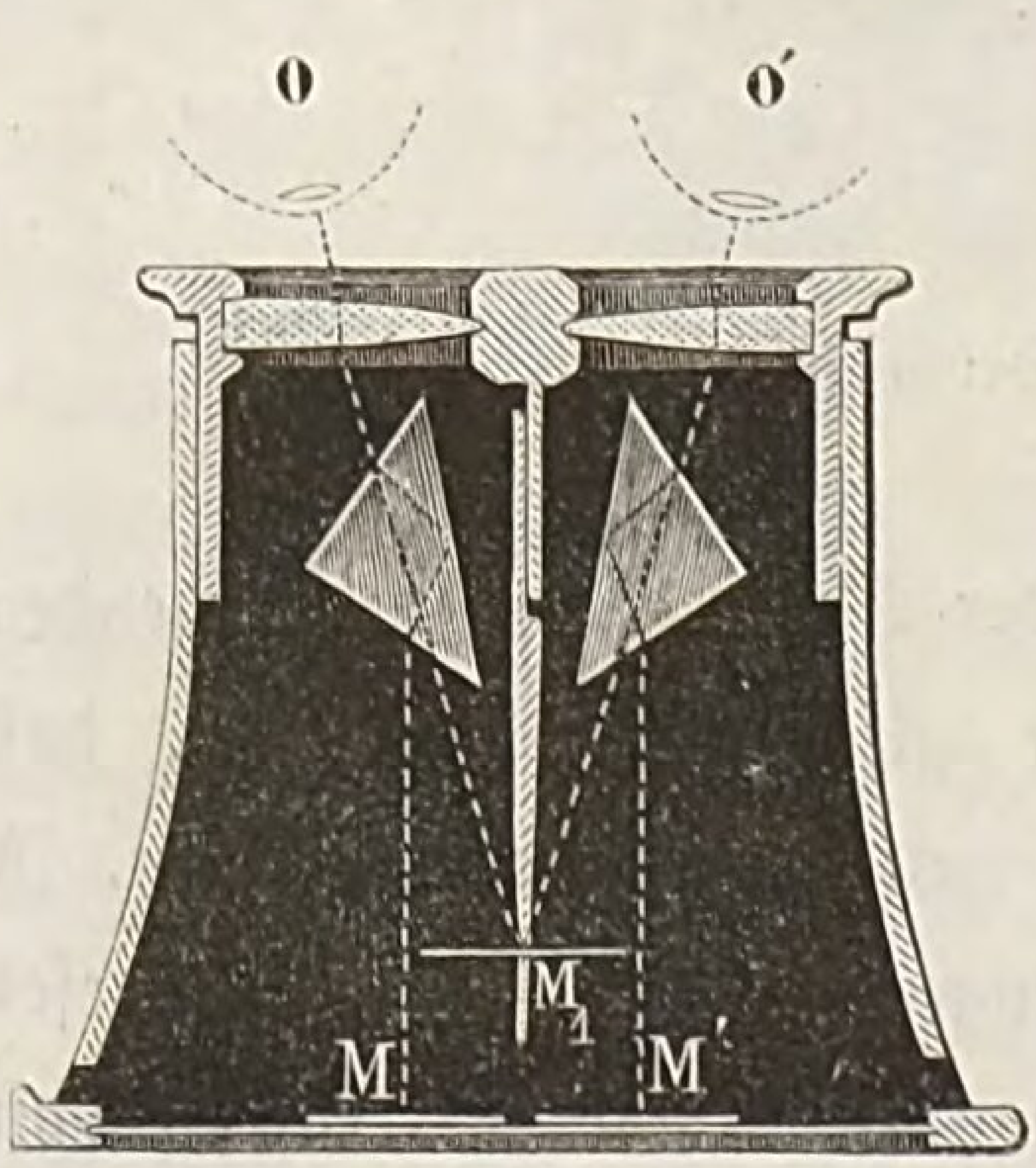


Fig. 198. Pseudoskop.

In die Stereoskope von Brewster und Helmholtz kann man noch zwei Glasprismen einfügen, deren Querschnitte die Gestalt von gleichschenkligen rechtwinkligen Dreiecken besitzen (Fig. 198), und durch welche die Strahlen, die von den Bildern kommen, Brechung und totale Reflexion erleiden: es dringt nämlich ein Strahl, der von M ausgeht, zunächst durch die eine Kathetenfläche in das Prisma ein, wird dabei dem Lothe zugebrochen und darauf an der Hypotenusenfläche total reflectiert; endlich aber tritt er aus der anderen Kathetenfläche wieder aus und gelangt durch die Linse hindurch in das Auge O, als ob er von M_1 ausgegangen wäre. Das Gleiche ist der Fall mit einem Strahle, der von M' ausgeht und in das Auge O' gelangt, sodaß sich die Bilder für beide Augen

ähnlich wie beim Stereoskope in M_1 verschmelzen, nur mit dem Unterschiede, daß jedes Auge das Spiegelbild der Ansicht sieht, die ursprünglich für dasselbe bestimmt war, daß so mit Rechts und Links vertauscht ist. Bringt man also in den Apparat die Darstellung eines erhabenen Gegen-

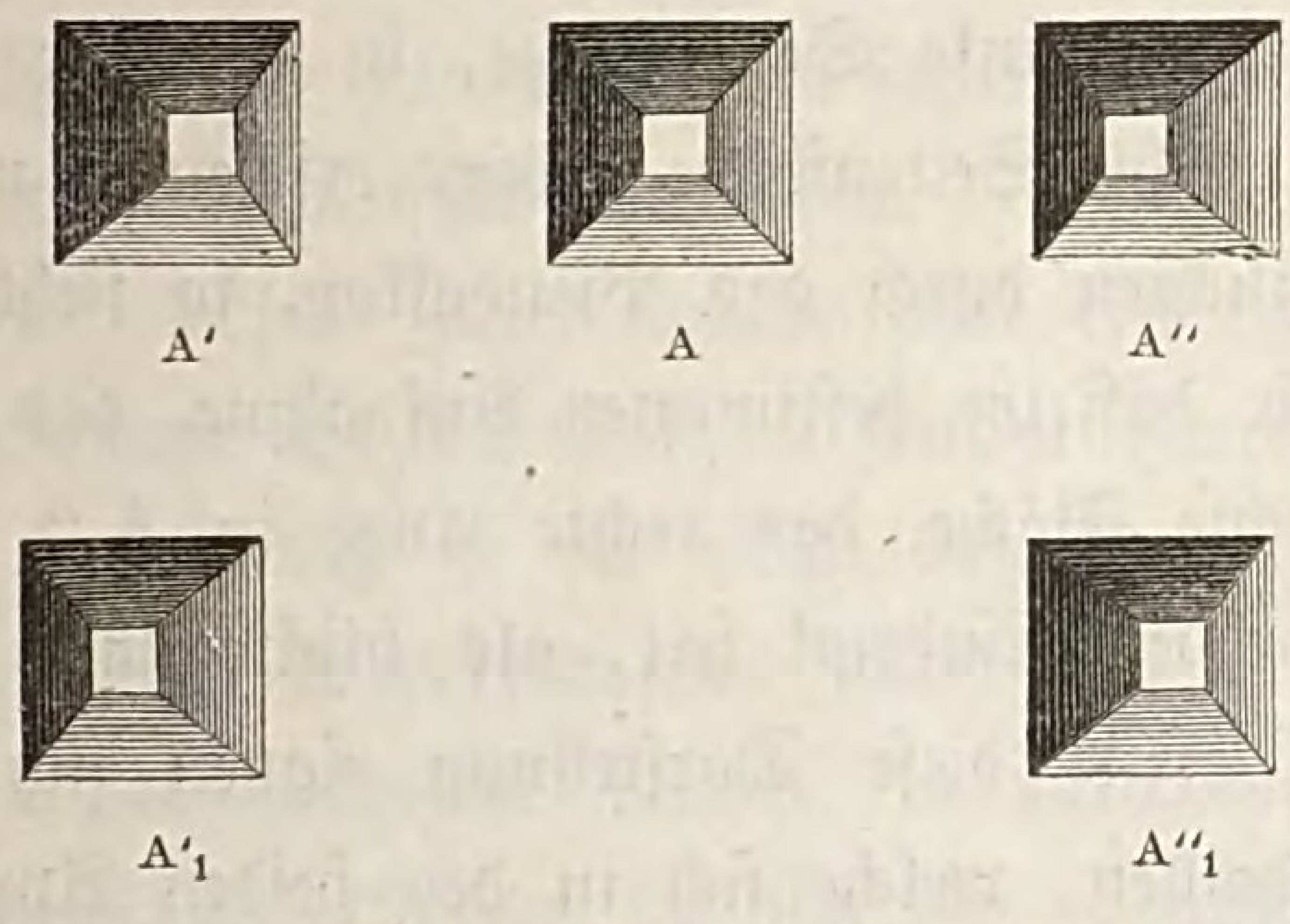


Fig. 199. Umkehrung der Anschauung im Pseudoskope.

standes, von dem das Bild, das für das rechte Auge bestimmt ist, mehr nach Rechts gewendet ist, so wird dasselbe in diesem Instrumente,

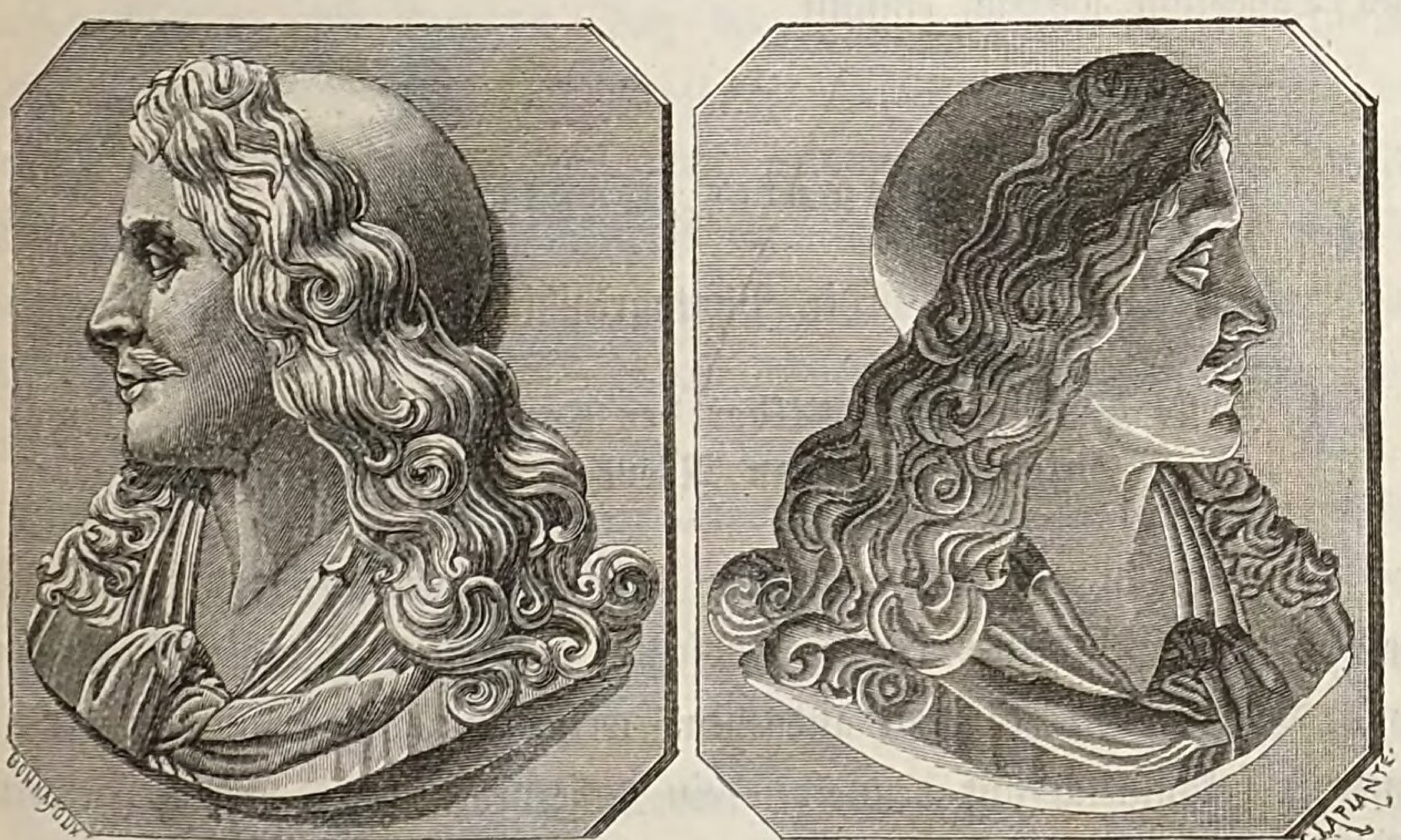


Fig. 200. Verschiedene Erscheinung desselben Bildes im Stereoskope und im Pseudoskope.

welches man ein Pseudoskop nennt, gerade mehr nach Links gewendet erscheinen, ebenso wie das für das linke Auge bestimmte Bild infolge der Spiegelung sich nach Rechts gewendet zeigt: und hiervon ist die Folge, daß der Gegenstand sich nicht mehr als ein erhabener, sondern als ein vertiefter unserem Auge darstellt. In gleicher Weise werden

Ansichten, die im Stereoskop als Hohlräume erscheinen, im Pseudoskop den Anblick erhabener Körper. gewähren. Die Täuschung ist hierbei eine vollkommene, wenn nicht etwa die Lage des Schattens dieselbe stört. Wenn man z. B. von einer abgestumpften Pyramide A (Fig. 199) Stereoskopbilder anfertigt, so wird in der Ansicht A', die für das linke Auge bestimmt ist, die linke Seitenfläche, in der für das rechte Auge bestimmten A'' die rechte Seitenfläche größer erscheinen müssen: betrachtet man nun diese Ansichten durch das Pseudoskop, so sieht jedes Auge das Spiegelbild der für dasselbe bestimmten Aufnahme, das linke Auge sieht also in A_1' die rechte Fläche, das rechte Auge in A_1'' die linke Fläche größer, sodaß man den Eindruck hat, als blickte man in eine trichterförmige Höhlung. Für diese Darstellung eignen sich ganz besonders Münzen und Medaillen, welche sich in den beiden Apparaten bald als erhaben, bald als vertieft darstellen, wie Fig. 200, die ein Medaillonbild Molière's darstellt, anschaulich zu machen sucht: am besten gelingt dabei die Täuschung, wenn man die Apparate immer so aufstellt, daß die Lichter der Bilder nach der Seite hin zu liegen kommen, von welcher das Tageslicht wirklich einfällt.

Sechstes Kapitel.

Die Photographie.

§ 1. Erste Versuche die Bilder der Camera obscura zu fixieren. Entdeckungen von Niepce und Daguerre.

Fängt man auf einem weißen Schirme, welcher im Brennpunkte der Sammellinse einer Camera obscura aufgestellt ist, die Lichtstrahlen auf, die von den Körpern ausgehen, welche sich außerhalb befinden, so entsteht bekanntlich auf demselben ein außerordentlich treues, verkleinertes Bild dieser Gegenstände, in welchem sich alle Abstufungen der Färbung und Schattierung wieder erkennen und alle Einzelheiten auffinden lassen; allein dieses Bild ist durchaus ohne Bestand, indem es nur der augenblicklichen Bewegung der Lichtwellen und ihrer Ausbreitung und Brechung in den verschiedenen Mitteln, welche die Strahlen durchwandern müssen, bevor sie in unser Auge gelangen, seine Entstehung verdankt: sobald man die Oeffnung des Apparates schließt, oder sobald man den Schirm

aus seiner Lage entfernt, ist auch das Bild augenblicklich verschwunden. Seit der Zeit, daß Porta die Camera obscura erfunden hat, wurde in mehr als einem Naturforscher der Wunsch rege, daß es ihm gelingen möchte, diese so überaus genauen Bilder auf dem Schirme zurückzuhalten und auf diese Weise die Natur selbst als Gehilfen bei der Anfertigung bildlicher Darstellungen zu verwenden, bis schließlich Niepce und Daguerre so glücklich waren, diese Aufgabe zu lösen.

Die Erreichung dieses Zieles wurde aber erst ermöglicht, als man eine weitere Eigenschaft der Lichtstrahlen kennen gelernt hatte, als man nämlich bemerkt hatte, daß sie die Kraft besaßen, in gewissen Stoffen chemische Veränderungen hervorzurufen: sobald diese Stoffe also der Einwirkung der Strahlen ausgesetzt werden, so wird auch an ihrer Oberfläche eine Umwandlung erfolgen, die sich um so größer zeigt, je intensiver das Licht einwirkt. Im Jahre 1770 hatte Scheele die Eigenthümlichkeit des Chlorsilbers entdeckt, daß sich dasselbe unter dem Einflusse des Lichtes schwärzt, oder wenigstens hatte er diese Eigenschaft, die möglicherweise schon den alten Alchymisten bekannt war, genauer untersucht. Weiter wird berichtet, daß der Physiker Charles im Anfange dieses Jahrhunderts durch die Kraft der Lichtstrahlen Silhouetten angefertigt habe: und wenn auch nicht genauer bekannt ist, auf welche Weise derselbe verfuhr, so ist doch sehr wahrscheinlich, daß er sich die eben erwähnte Eigenthümlichkeit des Chlorsilbers zu Nutze machte, und daß sein Verfahren ein ähnliches ist wie dasjenige, welches Arago folgendermaßen beschreibt.

„Man lege einen Kupferstich auf Papier, welches mit Chlorsilber überzogen ist, und setze es dem Sonnenlichte so aus, daß der Stich nach Oben zu liegen kommt. Die schwarzen Streifen der Zeichnung werden die Lichtstrahlen aufhalten und die entsprechenden Stellen des Ueberzugs, welche von diesen Streifen bedeckt werden, behalten dadurch ihre ursprüngliche weiße Farbe. Dort dagegen, wo das Aetzwasser oder der Grabstichel nicht gewirkt hat, wo dem Papiere seine halb durchsichtige Beschaffenheit verblieben ist, wird das Sonnenlicht durchdringen und die Salzschicht schwärzen. Dieses Verfahren wird also nothwendig zu dem Resultate führen, daß ein Bild entsteht, welches dem Stiche an Gestalt gleich ist, während die Färbung in das Gegentheil verwandelt ist: an Stelle des Weiß erscheint Schwarz, und umgekehrt.“ Unglücklicherweise

würden sich diese negativen Bilder, ebenso wie die Silhouetten von Charles, nicht einen Tag aufheben lassen, denn das Licht, welches weiter auf die Partien einwirkt, die zuerst nicht mit ergriffen sind, wird schließlich das ganze mit Chlorsilber überzogene Papier mit einer gleichmäßigen schwarzen Färbung bedecken.

Im Jahre 1802 gelang es dem englischen Chemiker Wedgwood auf Häuten und Papieren, welche mit Chlorsilber oder salpetersaurem Silberoxyd überzogen waren, die Malereien der Kirchenfenster nachzubilden und Kupferstiche zu copieren; allein er hielt es nicht für möglich, daß sein Verfahren auch auf die Wiedergabe der Bilder in der Camera obscura angewendet werden könnte. Zu derselben Zeit fertigte H. Davy Bilder von sehr kleinen Gegenständen an, indem er dieselben in kurzer Entfernung vor der Linse des Sonnenmikroskopes aufstellte.

Bei allen diesen Versuchen ließ sich der eine große Uebelstand nicht abstellen, daß alle die Bilder, welche auf solche Weise hergestellt wurden, immer nur von sehr kurzer Dauer waren und durch die weitere Einwirkung des Sonnenlichtes sehr bald zerstört wurden. Die Aufgabe, ihnen eine längere Dauer zu verschaffen, wurde erst später durch Niepce gelöst, dem es auch ungefähr zwölf Jahre nach den von Davy angestellten Versuchen gelang, die Bilder der Camera obscura durch Einwirkung des Lichtes selbst dauernd festzuhalten. Zwar war Niepce zunächst in der Lösung dieser letzteren Aufgabe, nämlich in der Aufnahme von Bildern durch die Camera obscura, nicht sehr glücklich, weil jede solche Aufnahme eine gar zu lange Zeit in Anspruch nahm, sodaß er sich nach einer großen Anzahl vergeblicher Versuche von dieser Aufgabe ganz abwendete und auf die photographische Nachbildung von Kupferstichen beschränkte, bis er sich im Jahre 1829 mit Daguerre vereinigte und gemeinsam mit letzterem auch dieses Problem löste. Was ihm dagegen vollständig gelang, und wodurch er die Entdeckungen von Charles, Wedgwood und Davy erst nutzbar machte, das war die Fixierung der Bilder durch ein Verfahren, welches wesentlich in Folgendem bestand.

Auf eine Kupfertafel, deren Oberfläche mit Silber plattiert und sehr sorgfältig poliert war, trug er mittels eines Tupfballens einen Firniß auf, welcher aus einer Lösung von Asphalt in Lavendelöl bestand; diese Platte wurde schwach erwärmt, wodurch die Decke von Asphalt sich gleichmäßig über die Oberfläche ausbreitete und ein weiß-

liches Aussehen erhielt. Wurde sie in diesem Zustande in den Brennpunkt der Camera obscura gebracht, so erschien nach Verlauf einiger Zeit das Bild in schwachen Umrissen. Um diese Linien schärfer hervortreten zu lassen kam Niepce auf den Gedanken, die Platte in eine Mischung von Lavendelöl und Steinöl zu tauchen: und er erkannte, „daß die Theile des Ueberzuges, welche dem Lichte ausgesetzt gewesen waren, fast unverändert blieben, während sich die andern sehr schnell auflösten und die Metallfläche frei liegen ließen. Nachdem er die Platte mit Wasser abgewaschen hatte, war das Bild, welches in der Camera obscura entstanden war, in der Weise fertig gestellt, daß die hellen Stellen den Lichtern, die dunkeln den Schatten entsprachen, es war also ein positives Bild entstanden. Die hellen Stellen wurden durch das zerstreute Licht gebildet, welches von der weißlichen und nicht geglätteten Oberfläche des Asphaltes zurückgeworfen wurde; die dunkeln durch die polierten und blos gelegten Stellen des Metallspiegels, natürlich unter der Bedingung, daß sich in diesen Stellen nur dunkle Gegenstände spiegelten, daß man sie also in eine Lage brachte, in welcher sie nicht irgend ein lebhafteres Licht nach dem Auge durch Spiegelung zurückwerfen konnten. Die Halbschatten, wenn es deren überhaupt gab, konnten sich an den Stellen bilden, an welchen der Firniß durch ein theilweises Eindringen des Lösungsmittels in geringerem Grade matt erschien als die Stellen, welche vollständig unverändert geblieben waren“ (Arago).

Daguerre begann damit, daß er die Methode von Niepce zu verbessern suchte, und der erste Erfolg, den er hatte, war, daß er die Zeit, während welcher die Platte den Sonnenstrahlen auszusetzen war, abkürzte. Allein, da zu dieser Operation trotz aller Verbesserungen immer noch mehrere Stunden erforderlich waren, so begreift man leicht, warum es immer noch so gut wie unmöglich blieb genügende Nachbildungen von den Bildern der Camera obscura herzustellen: denn wenn beim Beginne der Operation die Gegenstände, die von der Sonne beleuchtet wurden, ihren Schatten nach der einen Seite hin warfen, so rückte das Gestirn infolge seiner täglichen Bewegung weiter und mit ihm auch der Schatten, sodaß derselbe beim Ende der Operation nach der entgegengesetzten Seite hin fiel. Dadurch aber wurde der Anblick des Gegenstandes im höchsten Grade unbestimmt, die ganze Oberfläche erhielt eine gleichmäßige Fär-

bung ohne jede Schattierung, und damit ging der Eindruck des Körperlichen vollständig verloren.

Trotz alledem aber gebührt doch der Ruhm der ersten Erfindung eines Verfahrens, durch welches unter der Einwirkung des Lichtes Bilder, die nicht sobald verblichen, hergestellt werden, dem Physiker Niepce, den leider im Jahre 1833 der Tod ereilte, sodaß es ihm nicht mehr vergönnt war selbst noch an der allgemeinen und öffentlichen Anerkennung Antheil zu nehmen, die ihm und seinem Gefährten Daguerre zugedacht war: im Juli des Jahres 1839 wurde nämlich in Frankreich auf dem Wege der Gesetzgebung für Daguerre eine lebenslängliche Pension von 6000 Frcs., für den Sohn von Niepce als dessen Erben aber eine solche von 4000 Frcs. dafür ausgesetzt, daß sie das Verfahren, durch welches die Lichtbilder hergestellt wurden, der Oeffentlichkeit übergaben. Daguerre dagegen hat durch Erfindung einer neuen Methode für die Herrichtung der Platten zur Vervollkommnung der neuen Kunst so viel beigetragen, daß es nun erst möglich wurde die verschiedenartigsten Gegenstände, als Landschaften, Bilder von Personen und Gruppen u. a. m. durch sie bildlich darzustellen. Manche Verbesserung hat seitdem diese Methode noch erfahren, ja sie ist selbst jetzt gar nicht mehr im Gebrauche und an ihrer Stelle werden jetzt die durch das Licht erzeugten Bilder in ganz anderer Weise hervorgerufen, sodaß sie in viel kürzerer Zeit entstehen und bei Weitem weniger kostspielig sind: bei alledem aber ist die Schärfe und Genauigkeit, welche die von Daguerre angefertigten Bilder besaßen, noch nicht übertroffen worden. Außerdem hat das Verfahren Daguerres in geschichtlicher wie in wissenschaftlicher Beziehung eine solche Wichtigkeit, in ihm sind die Gesetze der Physik und Chemie bereits in so geistreicher Weise angewendet, daß wir uns nicht versagen können dasselbe in seinen Einzelheiten kurz zu beschreiben. Die Begeisterung, mit welcher es von allem Anfange an von Seiten der Gelehrten und der Künstler, wie auch des gesammten Publikums begrüßt wurde, ist im vollsten Maße gerechtfertigt, wenn man bedenkt, wie groß die Dienste sind, die es den verschiedensten geistigen und materiellen Interessen geleistet hat: die Naturwissenschaften in ihrem gesammten Umfange, die Geographie, die Ethnographie, die Architectur, ja selbst die zeichnenden Künste haben aus dieser Erfindung bereits den größten Nutzen gezogen und sind durch dieselbe wesentlich gefördert worden.

Wenden wir uns jetzt zu dem Verfahren, welches Daguerre im Jahre 1839 bei der Herstellung der Bilder in der Camera obscura beobachtete und damals der Oeffentlichkeit übergab, und welches man seitdem nach seinem Erfinder mit dem Namen der Daguerreotypie bezeichnete.

§ 2. Die Daguerreotypie.

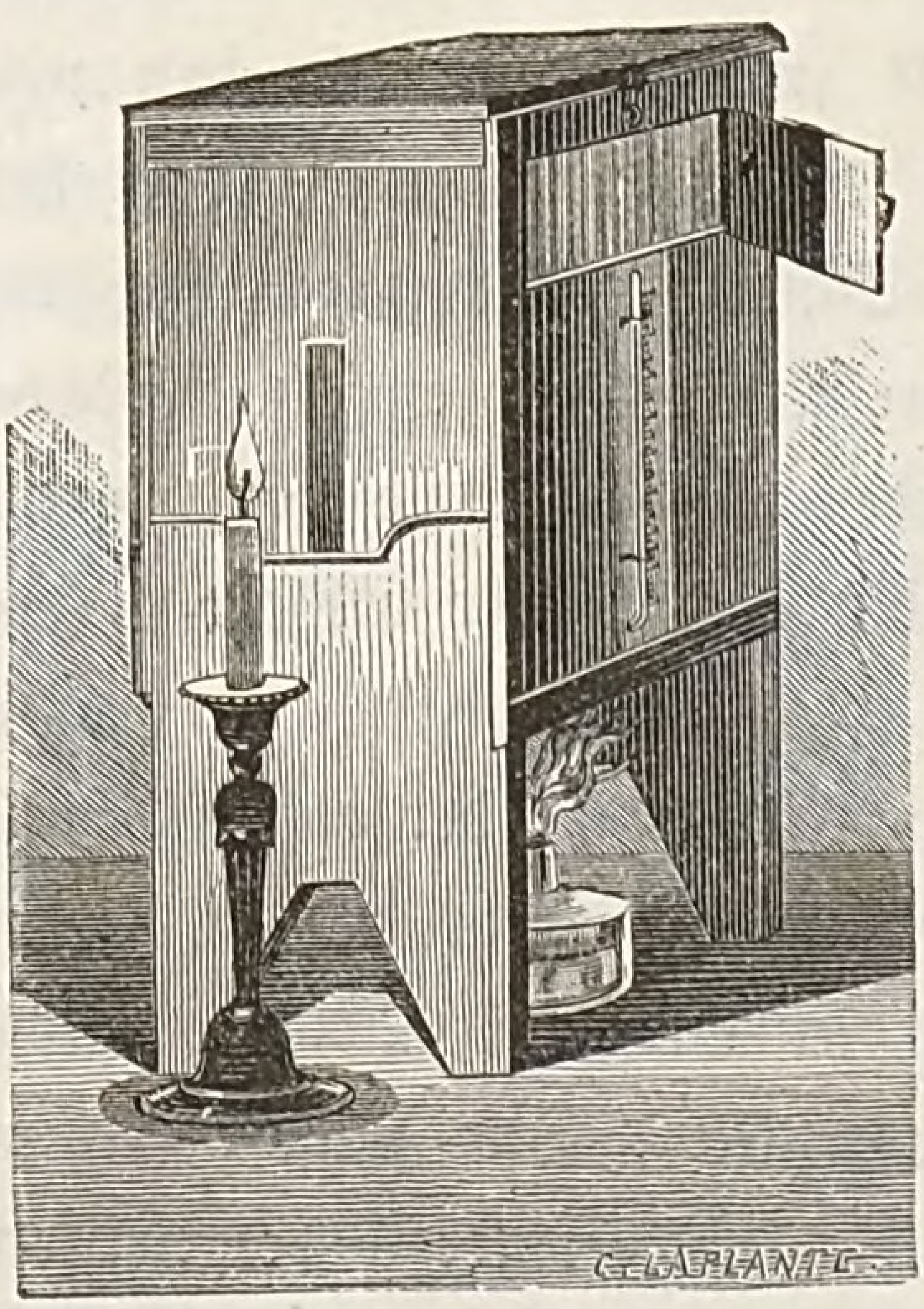
Wie Niepce benutzte auch Daguerre eine Kupferplatte von der Dicke einer starken Karte, welche mit Silber plattiert war und welche er verschiedenen Manipulationen unterwarf, die er selbst in fünf Gruppen theilte: diese fünferlei Operationen wollen wir jetzt in ähnlicher Weise besprechen, wie es der Erfinder in der von ihm veröffentlichten Schrift gethan hat.

Die erste Operation besteht im Polieren und Reinigen der Platte: mit Watte, welche mit Olivenöl getränkt ist, und mit sehr fein zerstoßenem Bimssteine wird die Oberfläche des Silbers mit sehr großer Sorgfalt poliert; darauf wird die fettige Schicht mittels eines Bausches, der mit sehr stark verdünnter Salpetersäure getränkt ist, entfernt. Nachdem die Platte nunmehr stark erhitzt worden ist, wird sie von Neuem mit Bimsstein, aber trocken abgerieben, bis das Silber vollständig geglättet erscheint.

In diesem Zustande ist die Platte zur Aufnahme der empfindlichen Schicht vorbereitet und es folgt nun die zweite Operation, die darin besteht, daß man die polierte Oberfläche den Dämpfen aussetzt, welche sich freiwillig aus einigen Stücken Jod entwickeln. Dies muß in einem dunkeln Raume geschehen und nur beim Lichte einer Kerze vergewissert sich der Experimentator, ob die Platte genügend vorbereitet ist, was sich dadurch zeigt, daß die Silberschicht eine schöne goldgelbe Farbe annimmt. Je nach der Temperatur muß man sie fünf Minuten bis eine halbe Stunde den Joddämpfen aussetzen.

Zwischen dieser Operation und der nächstfolgenden dritten, der Einführung der Platte in der Camera obscura darf höchstens eine Stunde Zwischenzeit liegen: man fügt die Platte hinter der Linse dort ein, wo ein deutliches Bild der darzustellenden Gegenstände entsteht, letztere aber mußte man in damaliger Zeit immer durch das directe Sonnenlicht bescheinen lassen. Wie lange Zeit die Camera obscura offen zu halten

war, das richtete sich nach der Stunde des Tages, nach der Jahreszeit und nach der Beschaffenheit der Luft: in Paris gebrauchte Daguerre in den günstigsten Fällen 3 Minuten, in den ungünstigsten eine halbe Stunde, bevor die Einwirkung des Lichtes einen genügenden Grad erreicht hatte. Noch ist auf dieser Platte, welche sorgfältig vor jedem weiteren Einflusse des Lichtes zu schützen ist, nichts zu sehen, und doch ist ihr bereits das treue Bild aller derjenigen Gegenstände eingeprägt, welche ihr durch die Linse der Camera obscura Lichtstrahlen zugesendet haben: es kommt also nunmehr darauf an dieses Bild, welches gleichsam noch unter einem Schleier verborgen ist, frei hervortreten zu lassen, was durch die vierte Operation geschieht, und es endlich durch eine letzte Operation vor jeder weiteren Zerstörung zu schützen.


Fig. 201. Kasten für die Entwickelung der Quecksilberdämpfe.

Sobald die Platte aus der Camera obscura ausgehoben ist, wird sie in einen Kasten (Fig. 201) gebracht und unter einem Winkel von 45° geneigt mit der Silberfläche nach Unten den Quecksilberdämpfen ausgesetzt, welche von einem Gefäße aufsteigen, in dem das Quecksilber auf 60 bis 75° C. erwärmt wird. Nach Verlauf einiger Minuten erscheint allmählich das Bild und wird nach und nach immer schärfer und deutlicher, wovon man sich überzeugt, indem man es durch das Licht einer Kerze beleuchtet: ist nun die Temperatur des Quecksilbers auf ungefähr 45° herabgesunken, so hat die Operation ein Ende erreicht und die Herstellung des Bildes ist vollendet; man kann es dann mehrere Monate lang aufbewahren, ohne daß es sich weiter verändert, vorausgesetzt jedoch, daß man vermeidet, es häufig und bei hellem Lichte zu betrachten.

„Der Zweck der fünften Operation sagt Daguerre, ist von der Platte das Jod zu entfernen, welches außerdem, wenn das Bild zu lange Zeit dem Lichte ausgesetzt würde, sich immerfort weiter zersetzen und das Bild zerstören würde.“ Ob diese Erklärung wissenschaftlich

ganz genau ist, werden wir später sehen: immerhin gelangte der Erfinder zu seinem Ziele, indem er die Platte in einer heißen Lösung von Kochsalz oder besser noch von unterschwefligsaurem Natron schwenkte und sie dann mit sehr heißem Wasser wusch. Man erkennt, daß diese letzte Operation zu Ende geführt ist, wenn jede Spur der ursprünglichen goldgelben Schicht verschwunden ist; bringt man hierauf das Bild unter Glas um seine Oberfläche vor jeder Berührung zu schützen, so bleibt es unverändert, selbst wenn man es dem hellen Tageslichte aussetzt.

Hierin bestand in der Kürze und abgesehen von verschiedenen Manipulationen, welche in physikalischer Beziehung kein weiteres Interesse gewähren, die von Daguerre erfundene Methode: dieselbe erfuhr bald mancherlei Verbesserungen, über die wir jetzt einige Worte sagen wollen; später gehen wir dann zu der Betrachtung des Verfahrens über, das man bei der Anfertigung der Photographien angewendet, welche jetzt die ursprüngliche Erfindung zwar gänzlich verdrängt haben, ohne daß jedoch dadurch dem Ruhme der beiden Männer, denen wir die erste Erfindung verdanken irgend etwas entzogen würde.

Wir haben bereits erwähnt, daß die Erfindung von Niepce und Daguerre überall mit dem größten Enthusiasmus aufgenommen wurde: und da die Manipulationen, welche zu ihrer Ausführung erforderlich sind, weder zu große Schwierigkeiten bieten, noch auch zu übermäßige Kosten erfordern, und da ferner, Dank dem oben erwähnten Gesetze, das Verfahren der Oeffentlichkeit übergeben war, so begann bald eine große Anzahl von Gelehrten, Künstlern, Gewerbtreibenden und blosen Liebhabern sich mit der Anfertigung von Lichtbildern zu beschäftigen. Damit konnte es aber auch nicht ausbleiben, daß nicht die ursprüngliche Methode bald mancherlei Umwandlungen und Verbesserungen erfuhr, von denen wir jetzt einige der wichtigeren erwähnen wollen.

Von allem Anfange an bemühte man sich das Bild dadurch so dauerhaft wie möglich zu machen, daß man es vor jedem weiteren Einflusse des Lichtes und vor jeder Berührung schützte: deshalb schlug Dumas vor die Platte mit einem Firniß zu überziehen, indem man sie mit einer siedenden Lösung von einem Theile Dextrin oder Stärkegummi in fünf Theilen Wasser übergießt. Besser noch ist die Fixierung durch Goldchlorür, welche Fizeau vorschlug: nachdem man die Platte, die bereits das Lichtbild aufgenommen hat und den Quecksilberdämpfen aus-

gesetzt war, sorgfältig mit unterschwefligsaurem Natron gewaschen hat, übergießt man sie vollständig mit einer Lösung von Goldchlorür und dem obengenannten Natronsalze und erhitzt sie von Unten her über einer Lampe. Bald bemerkt man, wie das Bild anfängt lichter zu werden und nach Verlauf von einer oder zwei Minuten tritt es mit ziemlicher Stärke hervor: die dünne Schicht von Gold, welche in diesem Augenblicke die ganze Oberfläche bedeckt, macht die Zeichnung viel kräftiger und schützt das Bild vor allen zufälligen Veränderungen.

Da das von Daguerre angewendete Verfahren immer noch, wie wir gesehen haben, eine ziemlich lange Zeit, im Mittel eine Viertelstunde, für die Exposition in Anspruch nahm, selbst wenn die Gegenstände vom directen Sonnenlichte getroffen wurden, so zeigten sich sehr große Schwierigkeiten, wenn man es auf Gegenstände anwenden wollte, die nicht leicht so lange Zeit vollständig ohne Bewegung bleiben; so hielt es im Anfange sehr schwer gute Bilder von Menschen oder Thieren anzufertigen, und es war ein dringendes Erforderniß, daß man versuchte die zur Exposition nöthige Zeit abzukürzen, wenn nicht die Anfertigung der Lichtbilder auf ein zu kleines Feld beschränkt bleiben sollte. Daher suchte man nach Stoffen, welche durch die Einwirkung des Lichtes schneller eine Umwandlung erfuhren, als das Silberjodür, und auch in dieser Beziehung war man bald so glücklich durch Auffindung einer Reihe von derartigen Stoffen die Kunst der Darstellung der Bilder durch die Wirkung der Lichtstrahlen wesentlich zu fördern.

Schon im Jahre 1841 machte Claudet die Bemerkung, daß die jodierte Platte bedeutend an Empfindlichkeit gewinnt, wenn sie zuvor den Dämpfen von Brom ausgesetzt wird: wenn die Platte unter der Einwirkung dieser Dämpfe eine rosenrothe Färbung angenommen hat, so wird sie von Neuem dem Joddampfe ausgesetzt, bis die Färbung in Violett übergegangen ist. Später hat man zur Beschleunigung des Verfahrens noch manche andere Stoffe verwendet, wie z. B. das Jodchlorür, das Jodbromür, und andere ähnliche Verbindungen, welche man in Lösungen brachte, die auf die Silberplatte entweder nach vorhergegangener Einwirkung des Joddampfes, oder auch ohne dieselbe aufgetragen werden müssen. Dank dieser Steigerung in der Empfindlichkeit der Stoffe, auf welchen sich die Bilder darstellen sollen, wurde das Verfahren der Heliographie, wie Niepce von Anfang an seine Erfindung nannte, in hohem

Grade beschleunigt, sodaß es nun möglich wurde die Aufnahmen in Zeit weniger Secunden zu vollenden, ja man konnte sogar das directe Sonnenlicht nunmehr entbehren: schon das zerstreute Licht, welches die Luft der Atmosphäre uns zusendet, genügt vollständig für die Hervorrufung von Bildern, die zwar nicht so schnell an Stärke zunehmen, dafür aber um so harmonischer sind und vom künstlerischen Standpunkte betrachtet einen besseren Eindruck machen. Auch die Verbesserungen, welche man am optischen Apparate, an der Camera obscura angebracht hat, haben viel zur weiteren Entwickelung dieser Erfindung beigetragen: bevor wir aber zur Beschreibung dieser Apparate, sowie zur Besprechung des Verfahrens übergehen, das zur Herstellung der sogenannten Photographien anzuwenden ist, wollen wir uns erst noch die Frage vorlegen, auf welche Weise sich die Vorgänge, die wir bei der Herstellung der Daguerreotypen beobachten, aus den Grundlehren der Physik und Chemie erklären lassen.

Daß zunächst reelle Bilder der Gegenstände dadurch entstehen, daß alle die Lichtstrahlen, welche von einem Punkte ausgehen, durch die Linse auch wieder in einem Punkte vereinigt werden, ist ein Vorgang, auf den wir auch schon mehrfach in diesem Buche z. B. bei Betrachtung der Mikroskope und Fernrohre, Rücksicht genommen haben, und der sich aus der Lehre von der Strahlenbrechung leicht erklären läßt: es fragt sich also nur, in welcher Weise dieses Bild auf die Platte einwirkt. Wir haben bereits bemerkt, daß die Silberplatte unter dem Einflusse der Joddämpfe ein goldgelbes Ansehen erhält, was sich daraus erklären läßt, daß das Jod mit dem Silber eine chemische Verbindung eingeht, daß sich nämlich Jodsilber bildet, welches die Silberplatte in einer dünnen Schicht überzieht. Je nach ihrer Dicke zeigt diese Schicht verschiedene Färbung, ist sie sehr dünne so erscheint sie strohgelb, bei etwas größerer Dicke gold- oder orangegelb, dann roth, blau und endlich violett: da das Jodsilber an und für sich weiß ist, so rührt diese Erscheinung nur von der Interferenz der Lichtstrahlen in der dünnen Schicht her; die Farben entstehen in ähnlicher Weise wie bei der Seifenblase oder bei der Perlmutter. Dumas hat das Gewicht der Schicht von Jodsilber ermittelt, die sich auf der Oberfläche einer Daguerreotypplatte gebildet hatte, und weiter hat er hieraus annähernd die Dicke dieser Schicht berechnet; diese Bestimmung gewährt so viel Interesse, daß wir sie mit den Worten des berühmten Chemikers selbst mittheilen wollen:

„Eine Platte von 5760 Quadratmillimeter Oberfläche wurde dem Joddampfe so lange ausgesetzt, bis sie eine strohgelbe Färbung annahm, und darauf auf eine sehr empfindliche Wage gelegt, auf welcher man zuvor das Taragewicht genau ermittelt hatte: es war eine Zunahme des Gewichtes unzweifelhaft zu beobachten, allein dieselbe betrug noch nicht die Hälfte eines Milligrammes. Als die Farbe goldgelb wurde, stieg die Gewichtszunahme auf ein halbes Milligramm. Als ich die Dauer der Einwirkung des Joddampfes über die erforderliche Zeit ausdehnte, als ich z. B. viermal so lange Zeit wartete, erhielt ich Resultate, die sich auf der Wage sehr merklich machten: nämlich eine Gewichtszunahme von zwei Milligrammen. Ich nahm an, daß der vierte Theil dieser Menge genügen würde um auf der gesammten Oberfläche die Dosis von Jodsilber zu bilden, welche für die Hervorrufung des Bildes vorhanden sein muß. Wenn man nun das Gewicht des Jodsilbers berechnet, welches durch diese Menge von Jod gebildet wird, und wenn man weiter das Volumen ausrechnet, welches dieses Gewicht Jodsilber einnimmt, so kann man sich schließlich Rechenschaft darüber geben, welche Dicke die Schicht Jodsilber besitzt, die sich auf der Oberfläche der Platte ablagert. Dieselbe beträgt noch nicht den millionsten Theil eines Millimeters.“

Ist nun die Metallplatte mit Jodsilber und vielleicht zugleich auch mit Bromsilber bedeckt, wenn nämlich noch solche Stoffe angewendet werden, die den Vorgang beschleunigen, so entsteht nun die weitere Frage, was wohl auf der Platte vor sich geht, wenn sie dem Einflusse des Lichtes ausgesetzt ist, und welche Wirkung die Lichtwellen in der empfindlichen Schicht hervorbringen. In dieser Beziehung sind die Meinungen getheilt: nach der Ansicht, welche Dumas in der Zeit aussprach, als die Entdeckung Daguerres der Oeffentlichkeit übergeben wurde, ist die Einwirkung des Lichtes eine rein mechanische; darnach würden die Lichtwellen nur die Schicht von Jodsilber lockern und aufreißen und dadurch dem Quecksilber gestatten mit dem metallischen Silber in Berührung zu kommen, während ihm an den Stellen, wo das Jodsilber nicht gelockert ist, auch der Zutritt nicht gestattet wird. Als der genannte Chemiker unter dem Mikroskope die Quecksilberschicht untersuchte, welche sich nach der dritten Operation auf der Platte niedergeschlagen hatte, so sah er, daß diese Schicht aus vielen ziemlich unregelmäßig gestalteten Quecksilber-

theilchen bestand, deren jedes ungefähr den 800sten Theil eines Millimeters im Durchmesser hatte. Die weißen Partien des Bildes oder die Lichter sind mit diesen Tröpfchen bedeckt, während sich dieselben in den Schattenpartien fast gar nicht vorfinden und in dem Halbschatten in geringerer Zahl auftreten als im Licht; mit einem Worte, die Quecksilbertröpfchen lagern sich in einer Menge ab, die im directen Verhältniß steht mit dem Grade, in welchem das Jodsilber aufgelockert ist.

Nach anderen Gelehrten wird dagegen das Jodsilber unter dem Einflusse der Lichtwellen zum Theil zersetzt, sodaß eine Verbindung aus Silber und Jod entsteht, welche das Jod in geringerer Menge enthält; diese tritt in Berührung mit einer Jodverbindung des Quecksilbers, aus welcher sich dann das metallische Quecksilber wieder ausscheidet. Nach dieser Theorie, welche von Choiselat und Ratel im Jahre 1843 aufgestellt wurde, „werden die Lichter einfach durch einen Staub von Silberamalgam hervorgerufen, welcher sich in einer außerordentlich dünnen Schicht auf der Platte ablagert; diese Lichter besitzen einen um so lebhafteren Ton, je dichter dieser Staub liegt und je reicher er an Silber ist; die Schatten werden dagegen dadurch hervorgerufen, daß sich sehr fein zertheiltes Silber ablagert, welches in mechanischer Weise nur mit einer sehr geringen Menge von Quecksilber gemischt ist.“

Welches übrigens auch die richtige Theorie ist, mögen die Tröpfchen aus Amalgam oder aus metallischem Quecksilber bestehen, so bildet immer ihre Ablagerung auf der Oberfläche der Platte eine augenscheinlich sehr leicht zerstörbare Ansammlung, und in beiden Fällen zeigt es sich daher als unbedingt erforderlich, daß man sie vor jeder Veränderung von Außen her schützt: hieraus läßt sich leicht die Nothwendigkeit der letzten Operation erkennen, durch welche die Bilder fixiert werden, und dies geschieht, wie wir gesehen haben, bei den nach Daguerre's Methode angefertigten Bildern am besten dadurch, daß man sie mit einem feinen Ueberzuge von Gold versieht.

§ 3. Die Photographie.

So wie die Namen von Niepce und Daguerre mit der ursprünglichen Erfindung der Herstellung von Lichtbildern auf Metallplatten verknüpft sind, so besteht ganz derselbe Zusammenhang zwischen den Namen Talbot und Blancquard-Evrard und der Entdeckung des Verfahrens,

durch welches Lichtbilder auf Papier oder Photographien hergestellt werden: und während Niepce und Talbot in den beiden Fällen den Ruhm für sich in Anspruch nehmen können, daß von ihnen der erste Gedanke der Erfindung herrührt, so haben Daguerre und Blancquard-Evrard das Verdienst das Verfahren der ersten Erfinder verbessert und brauchbar gemacht zu haben.

Noch nicht zwei Jahre waren vergangen, seitdem Arago und Gay-Lussac der Deputierten- und der Pairs-Kammer Bericht über Daguerre's Erfindung abgestattet hatten, als Biot in der Academie der Wissenschaften einen Brief des englischen Gelehrten Talbot verlas, in welchem ein von ihm erfundenes Verfahren mitgetheilt wurde, durch das die Bilder der Camera obscura direct auf empfindlichem Papiere hervorgerufen werden können. In diesem Briefe wird dieses Verfahren von Talbot folgendermaßen beschrieben:

„Man wäscht mit einer Lösung von salpetersaurem Silberoxyd in reinem Wasser die eine Seite eines Blattes Papier, die man sich irgendwie kenntlich gemacht hat um sie leicht wiederfinden zu können, und läßt sie langsam trocknen. Darauf taucht man das Blatt zwei Minuten lang in eine Lösung von Jodkalium. Nun wäscht man das jodierte Papier mit einer Verbindung des Silbers mit Salpetersäure und Gallussäure, welche man dadurch erhält, daß man eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd mit concentrierter Gallussäure mischt, wozu noch einige Tropfen Essigsäure gesetzt werden. Das auf diese Weise angefeuchtete Papier taucht man in Wasser, trocknet es mit Löschpapier und hat damit das kalotypische Papier fertiggestellt. Dieses Papier bringt man in den Brennpunkt der Camera obscura: und es genügt nunmehr die Zeit einer Minute um ihm das Bild aufzuprägen, das zwar zunächst noch unsichtbar ist, das aber sofort mit allen Einzelnheiten zur Erscheinung kommt, wenn man das Papier langsam vor dem Feuer erwärmt, nachdem man es einmal mit der Lösung von salpetersaurem und gallussaurem Silberoxyd gewaschen hat. Um das Bild zu fixieren muß man es mit einer Lösung von Jodkalium anfeuchten, nochmals waschen und abtrocknen. Die auf solche Weise fixierten Bilder bleiben durchsichtig und man kann von ihnen Nachbildungen anfertigen, wenn man dazu ein zweites Blatt von kalotypischem Papier benutzt, auf welches man das ursprüngliche Bild legt, und nun das Ganze dem Lichte aussetzt."

Bei diesem Verfahren kommen ganz ähnliche physikalische Principien zur Anwendung, wie bei den von Niepce und Daguerre angewendeten Operationen: ein Blatt wird mit einer Schicht bedeckt, welche für das Licht empfindlich ist, und dem Einflusse desselben im Brennpunkte der Camera obscura ausgesetzt. Wird es aus dieser Kammer herausgenommen, so ist das Bild noch unsichtbar und es bedarf noch erst der Anwendung eines besonderen Stoffes, der es erst zur Erscheinung bringt; schließlich ist noch eine letzte Operation, die Fixierung erforderlich, durch welche es vor jeder weiteren Umwandlung und Zerstörung geschützt wird. Alle weiteren Operationen, die man in späteren Zeiten zur Anwendung gebracht hat und deren Zahl eine ziemlich beträchtliche ist, gründen sich auf dieselben Principien und sind nur Umformungen derselben ursprünglichen Manipulation.

Wenn das Verfahren Talbots auch Anfangs nur Bilder lieferte, die in mehr als einer Beziehung mancherlei Mängel zeigten, so war es immerhin als ein Fortschritt in der neuen Kunst zu begrüßen. Denn die Platten Daguerre's hatten das Unbequeme, daß sie immer ein ziemliches Gewicht besaßen, was besonders auf Reisen lästig war, und waren auch ziemlich theuer; außerdem wird die Betrachtung der Bilder bei aller ihrer Sauberkeit und bei aller genauen Ausführung in allen Einzelheiten doch noch dadurch erschwert, daß sich in ihnen das Licht immer spiegelt und daß man daher sie nur deutlich erkennen kann, wenn man sie in eine bestimmte Stellung gegen das einfallende Licht bringt. Endlich erhält man nach Daguerre's Verfahren immer nur ein einziges Bild und man muß die Operationen immer vollständig von Neuem beginnen, wenn man von einem und demselben Gegenstande mehrere Abbildungen sich verschaffen will. In allen diesen Beziehungen, besonders aber in der zuletzt erwähnten ist Talbots Verfahren, welches gestattet von ein und derselben Aufnahme eine beliebige Anzahl von Copien zu machen, als ein wesentlicher Fortschritt in der Kunst des Photographierens zu betrachten, besonders nachdem seine Methode noch in mancherlei Beziehungen verbessert worden ist.

Um die Vervollkommnung der Talbot'schen Methode hat sich besonders Blancquard-Evrard verdient gemacht, dem es gelang allmählich immer vollkommnere Bilder auf Papier herzustellen, und der besonders eine viel größere Sicherheit erlangte, sodaß ihm die Aufnahmen gewöhnlich

sogleich beim ersten Versuche glückten, was früher durchaus nicht immer der Fall war. Wie sein Vorgänger stellte auch er zunächst ein negatives Bild her, d. h. ein solches, bei welchem die Lichter der Gegenstände dunkel, die Schatten aber hell erschienen, und von diesem negativen Bilde nahm er positive Abzüge in beliebiger Zahl. Der hauptsächlichste Fortschritt, der durch ihn in dieser Kunst gemacht worden ist, besteht in der Herrichtung des Papieres: statt daß er nur die Oberfläche mit der empfindlichen Schicht bedeckte, tränkte er die ganze Dicke mit Jodsilber; hierauf legte er das Blatt noch naß zwischen zwei Gläser und brachte es so in den Brennpunkt der Camera obscura. Jetzt wird das photographische Papier folgendermaßen zubereitet. Man nimmt ziemlich dünnes, aber sehr gleichmäßiges und glattes geleimtes Papier und legt dasselbe mit einer seiner Flächen auf eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd, indem man dabei Sorge trägt, daß die Berührung eine ganz vollständige ist, daß sich also besonders auch nicht etwa Luftblasen zwischen schieben, daß aber die andere Seite des Papieres von der Flüssigkeit nicht benetzt wird. Nach einigen Minuten wird das Blatt mit der feuchten Seite nach Oben auf einem Glase ausgebreitet und dort läßt man es im Dunkeln trocknen. Nachdem es vollständig getrocknet ist, wird es in eine Lösung von Jodkalium und Bromkalium getaucht, wobei eine doppelte chemische Umwandlung stattfindet: es bilden sich nämlich die beiden gegen das Licht empfindlichen Stoffe Jodsilber und Bromsilber, welche das Papier in seiner ganzen Dicke durchdringen. Wendet man das photographische Papier an, während es noch naß ist, so entsteht das Bild in ziemlich kurzer Zeit, und es ist deshalb dieses Verfahren einzuhalten, wenn es gilt lebende Wesen abzubilden, also besonders bei der Anfertigung von Portraits. Das trockne Papier muß dagegen dem Lichte länger ausgesetzt werden dafür aber gewährt es den Vortheil daß es sich leicht auf der Reise mitnehmen läßt, und man benutzt es deshalb bei der Aufnahme von Landschaften, Baudenkmälern und ähnlichen Gegenständen.

Kommt das Papier aus der Camera obscura, so ist, genau wie bei den Daguerre'schen Platten, auf seiner Oberfläche noch nichts zu sehen: das Bild muß erst durch gewisse Mittel hervorgerufen werden, und zwar dienen als solche in diesem Falle die Gallussäure oder besser noch die Pyrogallussäure, in welche man das Papier eintaucht. Diese der

organischen Natur entstammende Säure, wirkt auf die Silbersalze an allen den Stellen, an denen das Licht seinen Einfluß geltend gemacht hat, und dort bildet sich eine Verbindung der Gallussäure mit dem Silber von sehr dunkler Färbung, die um so lebhafter hervortritt, je kräftiger die Einwirkung des Lichtes gewesen ist: das entstandene Bild ist also ein negatives. Um dasselbe vor der weiteren Einwirkung des Lichtes zu schützen wäscht man es mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron oder Bromkalium, durch welche Stoffe die noch unveränderten Salze hinweggeführt werden.

Mit Hilfe des so erlangten negativen Bildes kann man nun positive Bilder herstellen, und zwar geschieht dies durch ein Verfahren, das vollständig demjenigen ähnlich ist, welches Niepce anwendete, als er sich damit beschäftigte Kupferstiche zu copieren. Man tränkt das negative Bild so stark mit Wachs, daß das nicht geschwärzte Papier durchscheinend oder sogar durchsichtig wird, legt es dann auf ein zweites Stück photographischen Papieres, bringt beide Blätter zwischen zwei Glasplatten und setzt sie entweder dem direkten Sonnenlichte oder auch dem zerstreuten Lichte des Tages aus. Dieses zweite Blatt Papier, welches überall da hell bleibt, wo das Negativ dunkel ist, und dunkel wird, wo das Negativ durchsichtig ist, welches also Licht und Schatten in richtiger Weise vertheilt hat, wird schließlich in der oben angegebenen Weise ebenfalls mit Gallussäure behandelt und durch Waschen fixiert.

Die Photographie auf Papier breitete sich mit sehr großer Geschwindigkeit aus und erfreute sich bald einer allgemeinen Beliebtheit; denn wenn auch die durch dieses Verfahren hergestellten Bilder in der Feinheit der Zeichnung den Daguerre'schen Platten nachstanden, wenn auch manche Einzelheiten wegen der körnigen und faserigen Beschaffenheit des Papieres nicht zur vollen Geltung kamen, so war dafür andererseits der Gesammteindruck, den ihr Anblick gewährt, ein mehr einheitlicher, und besonders aus diesem Grunde wurden sie von den Künstlern sehr geschätzt. Die Verbesserungen der Methode aber folgten gerade in dieser Epoche der Erfindung mit erstaunlicher Geschwindigkeit auf einander.

Zunächst machte man die Aufnahme auf Papier, das mit Wachs oder Leim getränkt war und dessen Oberfläche sorgfältig geglättet wurde, damit die feineren Partien der Zeichnung besser hervortreten konnten:

bald aber gelangte Niepce de Saint Victor, ein Neffe des ersten Erfinders der Lichtbilder, zu einer Entdeckung, welche die Photographie auf eine ganz andere Bahn brachte, welche von ihr noch bis auf den heutigen Tag in der Hauptsache verfolgt wird. Während nämlich Daguerre das Bild zuerst auf einer Metallplatte, Talbot und Blancquard-Evrard auf einem Blatte Papier entstehen ließen, benutzte der jüngere Niepce zu diesem Zwecke eine gut polierte Platte aus Spiegelglas, welche er mit einer Schicht von einem Stoffe, der gegen das Licht empfindlich ist, bedeckte und auf der er das negative Bild hervorrief. Die Durchsichtigkeit und Unveränderlichkeit des Glases, die feine Politur, die seine Oberfläche anzunehmen vermag, und endlich seine Billigkeit haben diesem Stoffe immer mehr Eingang verschafft, sodaß er die Metallplatten gänzlich, das photographische Papier aber wenigstens bei der Anfertigung des Negativs verdrängt hat.

Die empfindliche Schicht, womit Niepce die Glasplatte bedeckte, bestand aus einer Flüssigkeit von folgender Zusammensetzung: man bereitet Albumin dadurch, daß man das Weiße von Eiern zu Schaum schlägt, und setzt zu 100 Theilen Albumin 1 Theil Jodkalium und 25 Theile Wasser. Hiervon bringt man eine Schicht von recht gleichmäßiger Dicke auf die Glasplatte und läßt sie im Dunkeln trocknen, wozu etwa ein Tag erforderlich ist; nachdem man die Platte noch in eine Lösung von essigsaurem und salpetersaurem Silberoxyd getaucht hat, ist sie zur Aufnahme der Lichteindrücke fertig bereitet, und es genügt, daß man sie funfzehn bis dreißig Secunden in der Camera obscura dem Lichte aussetzt, um das negative Bild auf ihr zu erhalten. Von diesem Negative nimmt man in der oben angegebenen Weise positive Abzüge, welche freilich, da sie auf Papier aufgenommen wurden, den Fehlern, die aus der fasrigen Beschaffenheit des Stoffes hervorgingen, unterworfen blieben: allein da das Negativ unter diesen Uebelständen nicht zu leiden hatte, sondern in aller Schärfe hervortrat und alle Einzelheiten in voller Genauigkeit zeigte, so tritt bei diesem Verfahren die Schädigung der Feinheit der Bilder nur einmal ein, während sie sich bei dem früheren Verfahren zweimal geltend machte. Aber auch dieser Uebelstand läßt sich vermeiden, wenn man das Positiv ebenfalls auf einer mit Albumin bedeckten Glastafel entstehen läßt: man wendet dieses Verfahren besonders bei den Bildern an, die für das Stereoskop bestimmt sind, und hat auf

diesem Wege Ansichten angefertigt, die an Schönheit nichts zu wünschen übrig lassen.

Aber auch das Albumin ist später durch einen anderen Stoff verdrängt worden, nämlich durch das Collodium, wenigstens bei der Anfertigung des Negatives. Im Jahre 1846 entdeckte Schönlein ein höchst merkwürdiges Präparat, die Schießbaumwolle oder das Pyroxylin, das nicht allein in den Kreisen der Gelehrten, sondern ebenso beim großen Publikum das größte Aufsehen machte: glaubte man doch sogar eine Zeit lang, dieser explosive Stoff werde das gewöhnliche Schießpulver vollständig verdrängen. Wenn nun auch diese Erwartung nicht in Erfüllung ging, so erlangte die Schießbaumwolle doch bald eine sehr große Wichtigkeit dadurch, daß sich durch ihre Auflösung ein anderer Stoff, das Collodium herstellen ließ, welcher in mehrfacher Beziehung sehr nützliche Verwendung fand. Die Darstellung der Schießbaumwolle besteht wesentlich darin, daß man Kammbaumwolle etwa eine halbe Minute lang in eine Mischung von concentrierter Schwefel- und Salpetersäure taucht, sie dann mit vielem Wasser auswäscht und an der Luft trocknen läßt, das Collodium aber erhält man, wenn man die so zubereitete Baumwolle in einer Mischung von Aether und Alkohol auflöst.

Im Jahre 1851 kam ein englischer Photograph Archer auf den Gedanken die Glasplatten, welche zur Aufnahme des Negatives dienen sollten, statt mit Albumin lieber mit Collodium, das bis dahin hauptsächlich nur in der Chirurgie verwendet worden war, zu überziehen: dasselbe wirkt in ganz ähnlicher Weise wie der früher angewendete Stoff, nur erfolgt die Umwandlung durch das Licht noch viel schneller, sodaß man mit Collodium in der kürzesten Zeit, so zu sagen augenblicklich, Aufnahmen machen kann. Hierdurch ist nun die Möglichkeit gegeben Ansichten herzustellen, in welche lebende Wesen aufgenommen sind, bei Porträts den augenblicklichen Gesichtsausdruck festzuhalten, ja selbst Körper, die sich in Bewegung befinden, wie die Wolken, die vom Winde getrieben werden, die Wogen des Meeres, Thiere und ähnliche Objecte, lassen sich durch dieses Verfahren auf photographischem Wege abbilden. Auch diese Methode, bei welcher das Collodium Verwendung findet, ist in mehrfacher Weise abgeändert und verbessert worden: allein auf alle diese einzelnen Verbesserungen können wir hier ebensowenig eingehen, als

wir uns mit den mancherlei Handgriffen beschäftigen dürfen, von deren geschickter Ausführung zum guten Theil die Schönheit und Vollkommenheit der Bilder abhängt; sondern wir müssen uns darauf beschränken die Hauptmomente des Verfahrens kurz zu besprechen.

Das Collodium bereitet man dadurch, daß man 1 Th. Pyroxylin oder Schießbaumwolle in 50 Th. rectificierten Schwefeläther und 25 Th. Alkohol auflöst: weiter mischt man dasselbe mit einer Lösung der Jod- und der Bromverbindungen von Kalium, Cadmium und Ammonium in Alkohol, und fügt noch ein kleines Stück Jod hinzu. Mit diesen Flüssigkeiten überzieht man die vorher gut gereinigte Glastafel und taucht dann dieselbe, wenn die flüssige Schicht fast ganz trocken ist, sehr schnell in ein Bad von salpetersaurem Silberoxyd: das Jodsilber und das Bromsilber, das sich hierbei bildet, erscheint als eine weißliche undurchsichtige Schicht, welche gegen das Licht außerordentlich empfindlich ist, weshalb diese ganze Operation im Dunkeln erfolgen muß.

Nunmehr bringt man die Platte in den Rahmen der Camera obscura und setzt sie der Einwirkung des Lichtes aus, indem man das Bild auf ihr auffängt: nach einigen Secunden hat sich dasselbe der Schicht eingeprägt, und es kommt nun nur noch darauf an diejenigen Operationen vorzunehmen, durch welche es hervorgerufen und fixiert wird; ersteres geschieht durch Behandlung mit Pyrogallussäure, letzteres durch Waschung mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron. Ueberzieht man die Platte zuvor mit Eiweiß, ehe man das Collodium auf sie aufträgt, so kann man sie mehrere Tage nach ihrer Zubereitung noch gebrauchen: es ist dies das Verfahren des Photographieren auf trockenem Collodium, das von Taupenot herrührt. Von dem negativen Bilde macht man weiter in der früher erwähnten Weise die positiven Copien auf Papier oder auch wieder auf Glas.

§ 4. Die optischen Apparate der Photographie.

Nachdem wir bisher eine gedrängte Uebersicht der Methoden, durch welche Bilder unter der Einwirkung des Lichtes gefertigt werden, gegeben und die Entwickelung dieser Kunst von ihrer ersten Erfindung durch Niepce und Daguerre an bis in unsere Zeit verfolgt haben, müssen wir nun noch auf einen Punkt genauer eingehen, der für alle die verschiedenen

Methoden von gleicher Wichtigkeit ist, nämlich auf die Einrichtung des optischen Apparates, der Camera obscura mit ihren wesentlichsten Nebentheilen, und anderer Vorrichtungen, welche sich auf den Gang des Lichtes und die Beleuchtung beziehen.

Die Camera obscura (Fig. 202) besteht aus einem rechteckigen Holzkasten, der auf einem Tische befestigt ist, welcher sich höher und tiefer stellen, neigen und drehen läßt; der Kasten selbst besteht aus zwei Abtheilungen M und N, die sich in Falzen in einander schieben lassen, sodaß man die innere Höhlung beliebig verlängern oder verkürzen kann. An der vorderen Seite befindet sich eine Oeffnung, vor der die Röhre AB angeschraubt ist, welche das Objectiv trägt: durch eine Schraube V läßt sich die Linse näher heranziehen oder weiter entfernen und dadurch eine genaue Einstellung bewirken. Die Rückseite aber ist so eingerichtet, daß der Rahmen G, der die empfindliche Platte trägt,

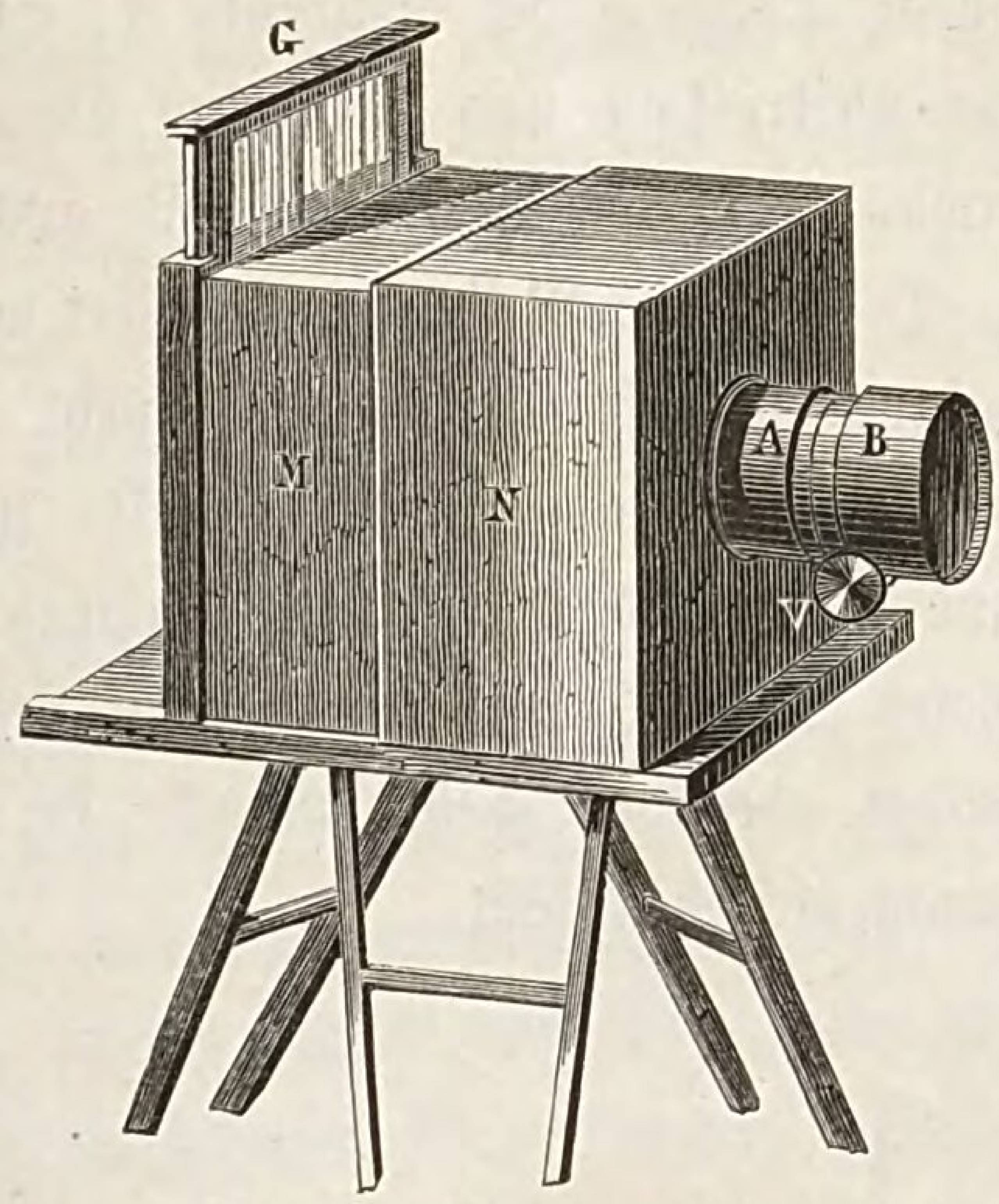


Fig. 202. Camera obscura der Photographen.

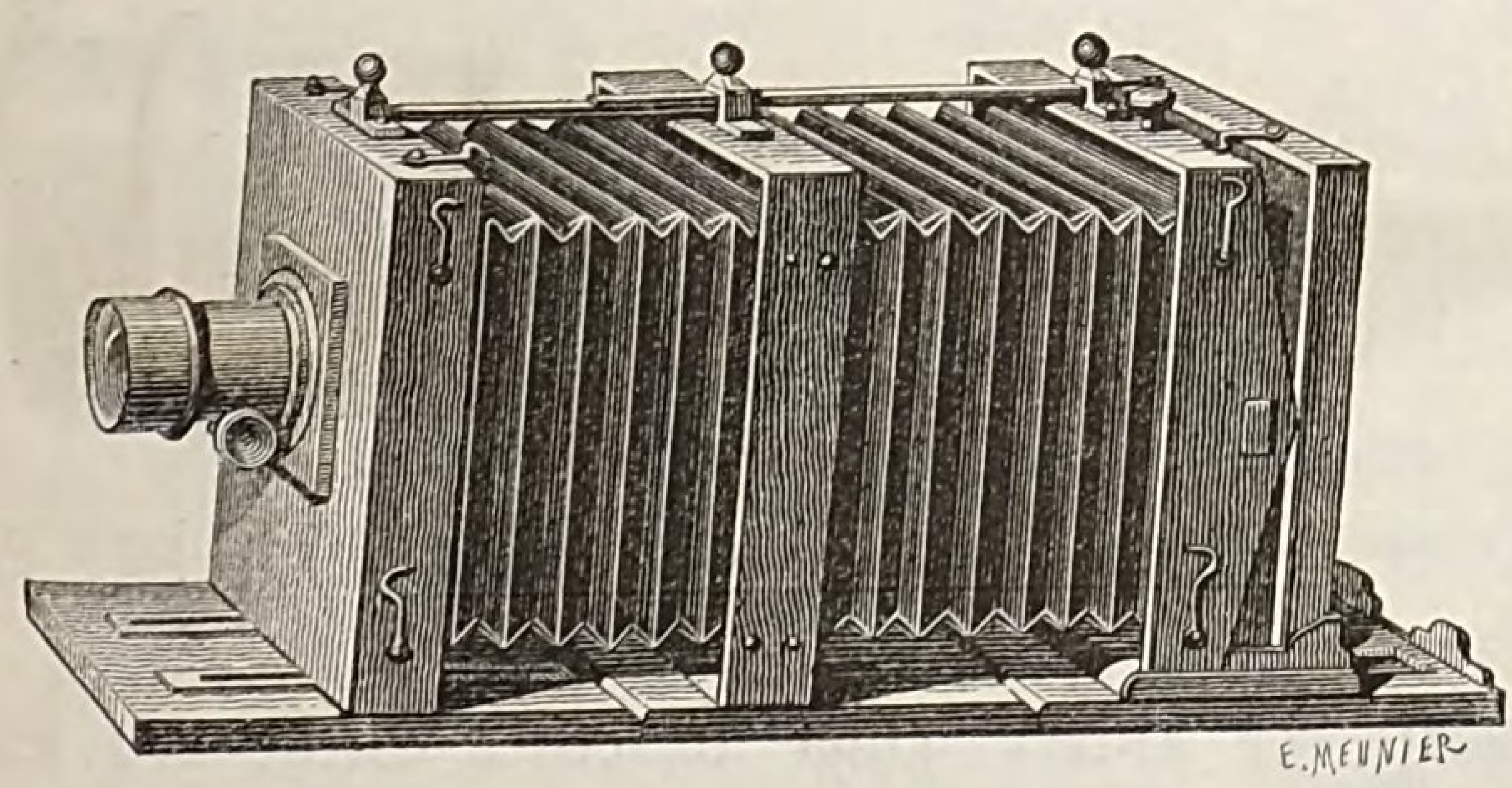


Fig. 203. Camera obscura mit Seitenwänden aus Leder.

in Falzen eingeschoben werden kann, sodaß das Bild der Camera obscura auf dieser Platte erscheint. Bevor man jedoch die Platte an dieser Stelle einfügt, muß sich der Photograph überzeugen, daß die Entfernung zwischen ihr und der Linse richtig bemessen ist: dies geschieht dadurch, daß man zunächst an Stelle der Platte eine mattgeschliffene Glastafel

einsetzt, auf der das Bild entsteht und von der Rückseite her betrachtet werden kann. Zeigt das Bild noch nicht die gehörige Schärfe, so muß man die Entfernung zwischen Glas und Linse so lange ändern, bis der Fehler verschwunden ist: die gröbere Einstellung erfolgt dabei durch ein Verschieben des beweglichen Theiles M des Kastens, die feinere aber durch Drehung der Schraube V, ein Verfahren, das mit der Einstellung der Mikroskope und Fernrohre übereinstimmt. Um die erstere Einstellung etwas bequemer ausführen und auch um den ganzen Apparat, wenn er z. B. auf der Reise transportiert werden soll, auf einen kleineren Raum zusammendrücken zu können, giebt man der Camera obscura häufig die in Fig. 203 abgebildete Gestalt: man fertigt nämlich nur die Vorder- und Rückwand und einen Rahmen in der Mitte aus Holz, zwischen dieses Gestell aber bringt man Leder, das wie das Leder des Blasebalges oder der Ziehharmonika in Falten gelegt ist und sich leicht zusammenschieben läßt.

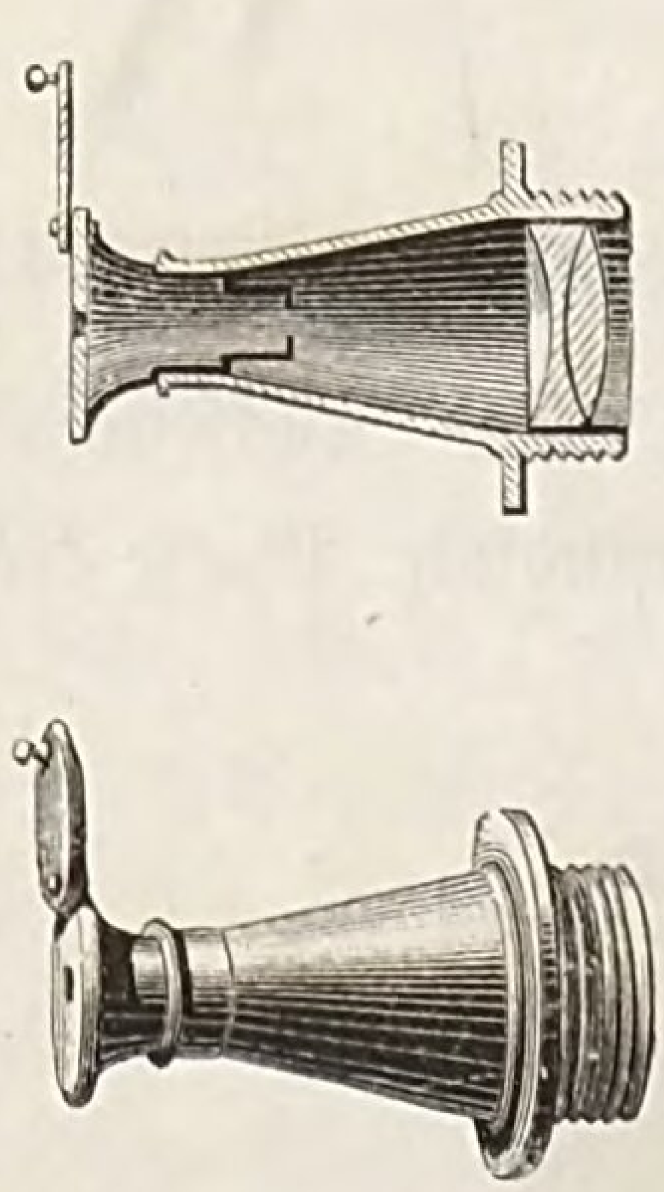


Fig. 204. Einfaches Objectiv.

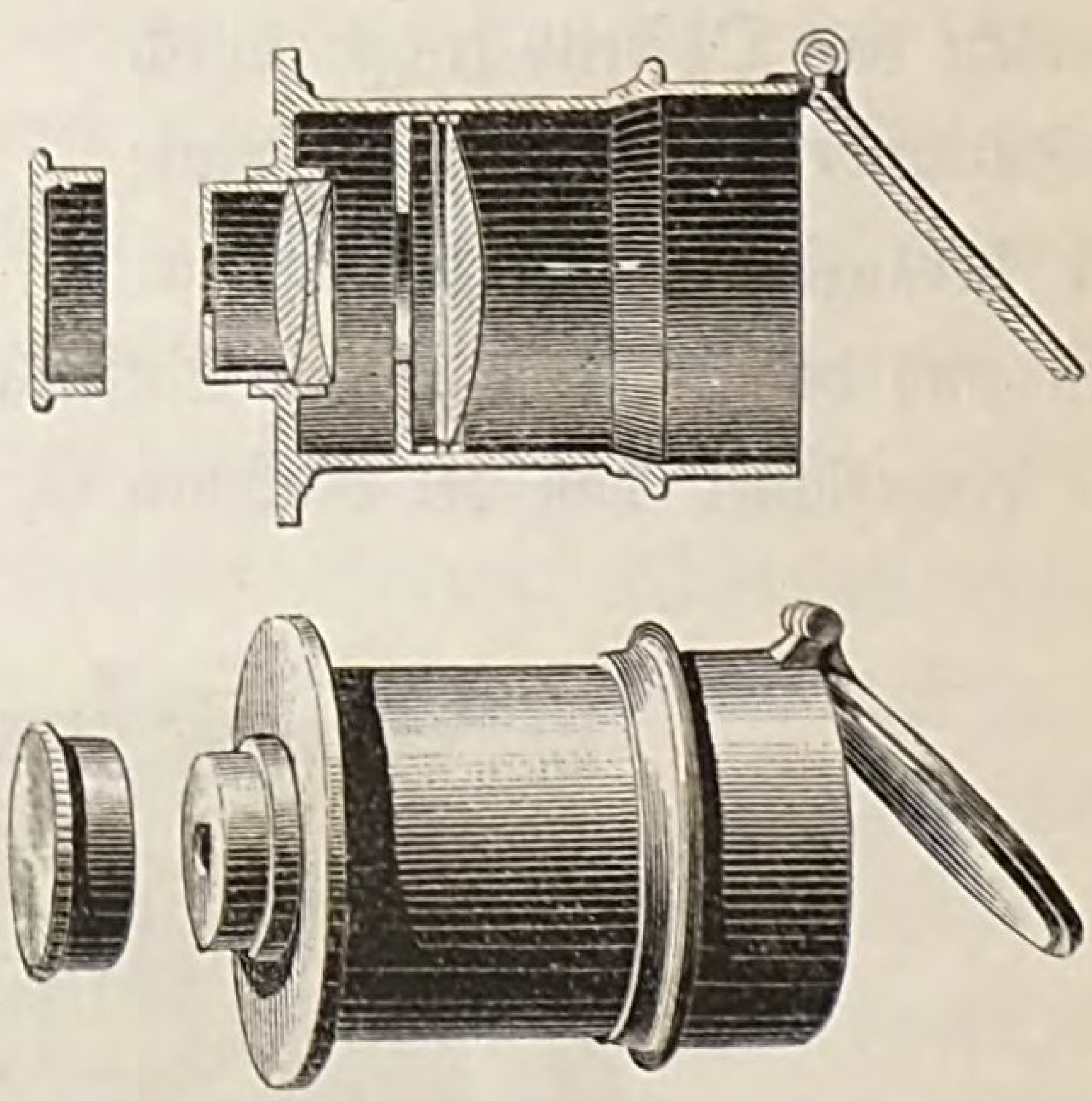


Fig. 205. Zusammengesetztes Objectiv mit Planspiegel.

Die Schärfe der Bilder hängt an erster Stelle von der Güte der Objectivlinse ab: dieselbe muß besonders von jeder chromatischen und sphärischen Abweichung durchaus frei sein; Fig. 204 und 205 zeigt ein einfaches und ein zusammengesetztes Objectiv in ihren Fassungen in der äußeren Ansicht und im Durchschnitte. Um bei dem einfachen Objective die sphärische Aberration vollständig zu vermeiden, durch welche die Linien, die in der Natur gerad sind, sich als krumme Linien darstellen, muß die Oeffnung in der Blende, durch welche das Licht eindringt, ziemlich

eng sein; daher ist aber auch die Menge des Lichtes, die in einer gewissen Zeit eindringt, eine verhältnißmäßig geringe, und die Platten müssen dem entsprechend bei Anwendung eines solchen Objectives längere Zeit dem Lichte ausgesetzt bleiben: deshalb eignet sich dieses Objectiv vorzüglich zur Aufnahme von Landschaften, Bauwerken, Denkmälern, kurz von leblosen Gegenständen. Für lebende Körper, besonders für Porträts ist dagegen das zusammengesetzte Objectiv vorzuziehen, bei dem die sphärische Abweichung durch eine Art von Collectivlinse wenigstens sehr verringert ist, sodaß die Oeffnung in der Blende einen größern Durchmesser haben und dadurch dem Lichte freieren Zutritt gestatten darf; die Aufnahmen können daher auch in viel kürzerer Zeit erfolgen, was in vielen Fällen sehr wichtig ist.

Wenn man die Ansicht von irgend einem Gegenstande nach der Daguerre'schen Methode in der Camera obscura auf der Silberplatte aufgefangen hat, so ist das Bild nicht allein ein verkehrtes, was ja ohne Nachtheil sein würde, sondern auch ein symmetrisches, d. h. für denjenigen, der das Bild betrachtet, scheint rechts und links vertauscht: es erscheint wie ein Spiegelbild des natürlichen Gegenstandes. Wollte man diesen Uebelstand vermeiden, so brachte man hinter dem Objective einen Planspiegel an, der gegen die Axe der Linse unter einem Winkel von 45° geneigt war (Fig. 205) und das Licht nach der seitwärts aufgestellten empfindlichen Silberplatte hinwarf: hierdurch wurde das Bild noch einmal umgekehrt und damit die Stellung der Seiten berichtigt. Bei der Photographie auf Glas ist diese Einrichtung nicht erforderlich, da bei diesem Verfahren das endliche Bild erst durch Copieren des Negatives erzeugt wird und man es daher in der Gewalt hat das Negativ so zu legen, daß das Positiv die richtige Ansicht gewährt.

In den ersten Jahren, welche auf Daguerre's Entdeckung folgten, gelang es häufig den geschicktesten Künstlern trotz der höchsten Sorgfalt, die sie auf die verschiedensten Manipulationen, in welchen das Verfahren besteht, verwendeten, nicht genügende Resultate zu erzielen, denn gewöhnlich standen die gewonnenen Bilder an Schärfe weit hinter den Ansichten zurück, die man zuvor auf der matten Glastafel beobachtet hatte. Man glaubte Anfangs den Grund hierfür darin suchen zu müssen, daß es außerordentlich schwer hält, die empfindliche Platte ganz genau in dieselbe Ebene zu bringen, in der sich vorher die matte Glastafel befunden

hatte, und ein Photograph Claudet bemühte sich ein Mittel zu ersinnen, durch welches diese Verschiedenheit in der Einstellung beider Tafeln beseitigt werden konnte. Durch Anwendung gewisser mechanischer Kunstgriffe gelang es ihm zwar diese Aufgabe zu lösen, allein die Bilder, die er herstellte, zeigten sich trotzdem immer wieder unklar und verwaschen. Erst nach wiederholten Versuchen gelang es ihm endlich den wahren Grund für diese Erscheinung aufzufinden: nämlich die stärkere Brechbarkeit der chemisch wirksamen Strahlen. Wenn nämlich von einem Punkte Strahlen ausgehen, die durch eine Linse gesammelt werden, so vereinigen sich die chemisch wirksamen Strahlen wegen ihrer größeren Brechbarkeit eher in einem Punkte, als die als Licht auf unser Auge wirkenden, und so liegt auch in der Camera obscura das chemisch wirksame Bild näher an der Linse als das dem Auge sichtbare. Wie groß der Abstand beider Bilder ist, das hängt von dem Materiale der Linse, von der Entfernung des Objectes und von der Intensität des Lichtes ab.

Diesem Uebelstande abzuhelfen ist dadurch gelungen, daß die Optiker gelernt haben Objective aus Linsen von verschiedenen Glassorten auf ähnliche Weise wie die achromatischen Linsen so zusammenzusetzen, daß der chemische Brennpunkt mit dem optischen zusammenfällt. Wenn dagegen das Objectiv eines Apparates diese Eigenschaft nicht besitzt, so ist es unbedingt nothwendig, daß der Photograph, der mit demselben arbeitet, die Linse einem genauen Studium unterwirft und durch zahlreiche Versuche ausprobiert, bei welcher Einstellung das Bild auf dem mattgeschliffenen Glase in den Abstand fällt, in welchem sich die chemischen Strahlen vereinigen und in welchem also auch das Bild auf der empfindlichen Platte die größte Schärfe erhält.

Wie wir bisher gesehen haben, gründen sich alle die verschiedenen Methoden der Herstellung von Bildern durch das Licht darauf, daß den Lichtstrahlen die Kraft innewohnt, gewisse Stoffe, welche man als empfindliche Stoffe bezeichnen kann, chemisch zu verändern: man bezeichnet die Strahlen, welche besonders zur Herbeiführung dieser Wirkung geeignet sind, als chemische Strahlen, und hat gefunden, daß sie sich im Spectrum des Sonnenlichtes besonders im blauen und violetten Theile vorfinden, ja daß auch noch jenseits der äußersten Grenze dieses Lichtes eine ziemliche Anzahl derselben vorhanden ist, daß also die brechbarsten aller Strahlen zwar nicht mehr auf unser Auge, wohl aber

auf die empfindlichen Stoffe wirken. Da schon das Blau sehr reich an diesen Strahlen ist, so wirkt es auf die empfindlichen Stoffe sehr stark ein, und deshalb erscheinen in den Photographien blaue Kleidungsstücke weiß: daher dürfen die Personen, von denen Porträts auf photographischem Wege hergestellt werden sollen, nicht blaue Kleider tragen, ja selbst die blauen Augen erscheinen meistens sehr matt. Da das Sonnenlicht sehr reich an chemischen Strahlen ist, sei es, daß es direct auf die Gegenstände fällt, oder daß es nur als zerstreutes Tageslicht zu ihnen gelangt, so eignet es sich ganz besonders zur Beleuchtung bei photographischen Aufnahmen: da man aber andererseits weder zu jeder Zeit, noch an jedem Orte frei über dieses Licht verfügen kann, so hat man versucht auch andere Lichtquellen zu gleichem Zwecke zu benutzen.

Vor allen anderen mußte sich nun die Aufmerksamkeit auf diejenige Lichtquelle lenken, die unter allen künstlichen Lichtern die größte Intensität besitzt, nämlich das elektrische Kohlenlicht, von welchem kurze Zeit, nachdem es durch Davy erfunden worden war, nachgewiesen wurde, daß es ebenfalls sehr reich an chemischen Strahlen ist, indem sich Chlorsilber, das ihm ausgesetzt war, sehr bald schwärzte. Später hat de la Rive diese Thatsache bestätigt und die Wirksamkeit auf Daguerre'sche Platten nachgewiesen, indem er das Bild einer Gipsbüste anfertigte, welche durch dieses höchst blendende Licht beleuchtet war. Auch in der Praxis hat diese Lichtquelle bei den photographischen Arbeiten Eingang gefunden, wie aus folgender Bemerkung hervorgeht, die sich in der Nummer für October 1866 des Journales les Mondes findet: „Herr Woodbury in Manchester bedient sich fortdauernd zur Anfertigung photographischer Clichés auf Gelatine des elektrischen Lichtes, welches durch eine Wild'sche Maschine erzeugt wird. Dieses Licht, welches zwischen zwei Kohlenspitzen erregt wird, ist von den Negativen umgeben, welche es durchdringen soll, um auf die Gelatine einzuwirken, und man kann sich jeden Tag davon überzeugen, daß die mit elektrischem Lichte auf der Gelatine erzeugten Umrisse viel schärfer werden, als wenn man bei Sonnen- oder gewöhnlichem Tageslichte arbeitet." Diese Bemerkung bezieht sich, wie man sieht, auf die Herstellung heliographischer Drucke, von denen wir bald sprechen werden; in dem, was aber weiter folgt, handelt es sich um eigentliche photographische Copien: „Die Herren Saxon und Comp., ebenfalls in Manchester, fertigen ihre vergrößerten

Nachbildungen nur noch bei dem elektrischen Lichte einer Wild'schen Maschine. Im Besitze eines künstlichen Lichtes, welches Tag und Nacht leuchtet, können sie die Verpflichtung eingehen, binnen vierundzwanzig Stunden die negativen Aufnahmen zu vergrößern, die man ihnen übergiebt.

Allein die Kosten, welche das elektrische Licht verursacht, sind nicht gering, und deshalb wendet man in den im Ganzen nicht gar zu häufigen Fällen, in welchen man genöthigt ist photographische Aufnahmen mit Ausschluß des Tageslichtes zu machen, lieber das Licht an, das durch Verbrennung des Metalles Magnesium erzeugt wird. Die Lampen, in denen man den Draht des genannten Metalles verbrennt, wurden von David Brewster erfunden, für die Anwendung in der Photographie aber hat Le Roux eine Verbesserung eingeführt, indem er statt des reinen Magnesium eine Legierung dieses Metalles mit Zink anwendete, wodurch sich die Kosten noch niedriger stellen, ohne daß die chemische Wirksamkeit wesentlich beeinträchtigt wird. Dieses Licht läßt sich sehr vortheilhaft verwenden, wenn es gilt Stiche zu copieren oder Büsten und Statuen, wie überhaupt leblose Gegenstände abzubilden; doch schon in diesen Fällen zeigt sich der große Uebelstand, daß Licht und Schatten sehr scharf gegen einander abgegrenzt sind, was die Schönheit der Bilder vom künstlerischen Standpunkte betrachtet sehr beeinträchtigt: zur Anfertigung von Porträts ist es dagegen gar nicht geeignet, denn diese erhalten eine solche Schärfe in den Zügen, daß sie eher den Eindruck von Leichen machen. Dafür läßt sich durch Anwendung dieser Lichter die Photographie auf Gegenstände anwenden, die sich dem Tageslicht für immer entziehen, und so hat man unter Anwendung dieses Hilfsmittels Abbildungen von den inneren Räumen der ägyptischen Pyramiden, von den ausgedehnten Höhlen in Kentucky, die unter dem Namen der Mammuthhöhlen bekannt sind, ebenso wie von den großartigen Tropfsteinhöhlen des Oberharzes, der Bielshöhle und der Baumannshöhle angefertigt, und weiter ist es gelungen, Aufnahmen von verschiedenen Theilen der für das Geschichtsstudium so wichtigen Katakomben von Rom und von Paris zu machen.

Auch noch andere künstliche Lichter sind auf ihrer Verwendbarkeit zur Beleuchtung bei photographischen Aufnahmen geprüft worden und haben sich in verschiedenem Grade bewährt: so besonders das sogenannte Drummond'sche Kalklicht, welches dadurch erzeugt wird, daß ein Strom von Sauerstoffgas aus einem Gasometer in einen Strom von Wasser-

stoffgas, der einem zweiten Gasometer entströmt und an der Stelle, wo er aus der Röhre tritt, entzündet ist, einströmt, wodurch die Verbrennung in sehr lebhafter Weise erfolgt und einen sehr hohen Hitzgrad erzeugt, und daß in dieser Flamme ein Stückchen Kalk oder auch Magnesia, Zirkonerde und ähnliche Stoffe zum Glühen gebracht werden. Van Monckoven hat vergrößerte Copien von Bildern auf Collodium und auf Papier binnen einer Zeit von ein bis drei Minuten erhalten, wenn er sie mit dem Knallgaslichte erleuchtete, dessen Strom auf ein Gemisch von Titansäure, Magnesia und kohlensaurer Magnesia geleitet war. Bei der Anwendung irgend einer künstlichen Lichtquelle hängt die Wirksamkeit, wie man leicht einsieht, nicht so sehr von der Intensität der unserem Auge sichtbaren Strahlen, als vielmehr von der Menge der chemischen Strahlen ab, die in ihr enthalten sind.

§ 5. **Vergrößerung der Bilder. Mikroskopische Photographien.**

Läßt man mit Hilfe eines Sonnen- oder Gasmikroskopes das Bild irgend eines Gegenstandes auf einem Schirme entstehen, der mit einer empfindlichen Schicht bedeckt ist, so muß sich natürlich auch auf diesem Schirme eine vergrößerte Abbildung des Gegenstandes darstellen: wählt man als Gegenstand selbst ein negatives Bild, so wird die vergrößerte Nachbildung positiv sein. Allein man kann auch die Einrichtung so treffen, daß schon die negative Aufnahme vergrößert erscheint und kann von derselben dann so viele positive Copien nehmen, als man will, und zwar geschieht dies durch die gewöhnliche, zuvor beschriebene Methode: ein Verfahren, das den Vorzug verdient, weil man mittels desselben in viel kürzerer Zeit eine Anzahl Copien herstellen kann, und das wesentlich folgendermaßen ausgeführt wird. Man nimmt zuerst von dem Negative, das man in der Camera obscura erhalten hat, eine positive Copie in gleicher Größe und bringt dieselbe so in das Sonnenmikroskop, daß ihr vergrößertes Bild auf eine Glastafel fällt, die mit Collodium überzogen und auf gewöhnliche Weise empfindlich gemacht ist. Dadurch entsteht auf der Glastafel wieder ein negatives Bild, das aber bereits im gewünschten Grade vergrößert ist und von dem man positive Copien anfertigt. Bei diesem Verfahren kommt der optische Apparat, durch den die Vergrößerung des Bildes bewirkt wird, nur einmal zur Anwendung,

und infolge dessen ist der Zeitaufwand viel geringer, als wenn man ihn für jedes einzelne Positiv in Thätigkeit setzen müßte.

Die Schwierigkeit bei der Vergrößerung der photographischen Aufnahmen besteht hauptsächlich darin, daß es Anfangs nicht gelingen wollte vollkommen scharfe Bilder herzustellen, bei denen die Zeichnung keine Verzerrung zeigt und die auch genau die Nuancen in der Färbung wiedergaben, welche die in der Camera obscura erzeugten Bilder besaßen; die ersten Versuche ließen in allen diesen Beziehungen viel zu wünschen übrig, aber allmählich hat man durch vielfache Versuche mancherlei wesentliche Verbesserungen angebracht, sodaß man jetzt recht befriedigende Resultate erzielt. So konnte man auf der Weltausstellung zu Paris vom Jahre 1867 ein von Ingres verfertigtes, sehr schönes Porträt in Lebensgröße und ganzer Figur bewundern, mehr aber noch eine Ansicht der Kathedrale von Amiens, die nur aus vier Theilen zusammengesetzt war, dabei aber eine Breite von 2 m und eine Höhe von 2,5 m besaß; auch für Gegenstände aus dem Gebiete der Astronomie ist dieses Verfahren sehr gut anzuwenden.

So viel Interesse auch die Vergrößerung der Bilder gewährt, wenn es sich um Gegenstände des täglichen Lebens, wie Porträts, ja selbst um Kunstgegenstände handelt, so sieht man den Werth, den dieses Verfahren hat, doch erst recht ein, sobald es auf Objecte angewendet wird, die so reich an Einzelheiten sind, daß selbst der geschickteste und geduldigste Zeichner bei deren genauer Nachbildung erlahmen würde: und wenn Arago in seinem Berichte über die Erfindung Daguerre's den Wunsch aussprach, daß es einst gelingen möchte durch dieses Verfahren getreue Abbildungen von den Tausenden von Hieroglyphen herzustellen, mit denen die Denkmäler des alten Aegyptens bedeckt sind, so ist jetzt dieser Wunsch, Dank der Erfindung des Verfahrens, durch welches sich die photographischen Aufnahmen bedeutend vergrößern lassen, in Erfüllung gegangen. Und wenn es ferner möglich ist das Bild eines Himmelskörpers, wie des Mondes, das zunächst nur einige Centimeter im Durchmesser hält, über eine Fläche auszudehnen, die einen Meter und mehr in der Breite mißt, um wie viel ist dann das Studium der Oberfläche dieses Begleiters der Erde erleichtert. Den größten Nutzen dürfte die Methode der Vergrößerung der Bilder aber wohl gewähren, wenn man sie auf solche Naturkörper anwendet, die sich durch ihre Kleinheit unserer

directen Anschauung entziehen. Um diese Aufgabe zu lösen mußte man ein Verfahren ausfindig machen, durch welches sich scharfe und genaue Bilder der unendlich kleinen Objecte anfertigen lassen: auch dies ist gelungen und damit ist ein neuer Zweig der Kunst, die Daguerre und Talbot erfunden hat, geschaffen worden, nämlich die mikroskopische Photographie.

Welche Veränderungen an den optischen Apparaten anzubringen sind, wenn es sich um die photographische Aufnahme solcher kleinen Objecte handelt, wie die weitere Vergrößerung der Bilder ausgeführt werden kann, hat zuerst Bersch gezeigt: das von ihm vorgeschlagene Verfahren ist später durch verschiedene Photographen und Optiker, besonders durch Dagron und Girard verbessert worden. Dagron ist zunächst als Erfinder der hübschen Spielereien zu nennen, die sich allgemeiner Beliebtheit erfreuen, nämlich der Photographien, die kaum die Größe eines Stecknadelknopfes haben, die aber durch eine Loupe betrachtet wie Bilder von gewöhnlicher Größe erscheinen und uns deutlich ein Porträt oder die Ansicht eines Denkmals, einer Statue oder ähnlicher Gegenstände erkennen lassen. Dagron befestigte diese mikroskopischen Photographien unmittelbar an der Rückseite einer Stanhope'schen Loupe, von der wir in Fig. 163, 6 eine Abbildung gegeben haben, sodaß jede Photographie ihr Vergrößerungsglas stets mit sich trägt, und so finden wir häufig solche kleine Photographien mit Loupe eingeschlossen in Ringen, Federhaltern, Petschaften 2c.

Allein von viel größerer Wichtigkeit ist die Anwendung dieser Erfindung auf wissenschaftliche Gegenstände, besonders auf Objecte aus dem Bereiche der niederen Thier- und Pflanzenwelt, und in dieser Beziehung hat Girard die Methode der Anfertigung der Bilder wesentlich gefördert. Als derselbe im Jahre 1869 der Academie der Wissenschaften einige mikroskopische Abbildungen von Diatomeen oder Stäbchenpflanzen in verschiedener Vergrößerung vorlegte, sprach er sich bei dieser Gelegenheit über die dabei benutzten Hilfsmittel folgendermaßen aus: „Diese Hilfsmittel sind ganz dieselben wie bei der gewöhnlichen Photographie, mit dem einzigen Unterschiede, daß das zur Aufnahme bestimmte Objectiv durch ein anderes sehr kleines ersetzt wird; die Beleuchtung erfolgt durch Sonnenlicht, welches je nach den Umständen von einem Plan- oder Hohlspiegel reflectiert wird. Um diesem Lichte die erforderliche bilderzeugende Kraft zu verleihen ist es unbedingt nöthig, daß man es durch

Einschaltung einer Glastafel von etwas bläulicher Färbung abändert. Wenn seine Intensität nicht genügt, wie dies der Fall ist, wenn man sehr starke Objective anwendet, deren vorderste Linse einen Durchmesser von kaum einem Millimeter hat, so muß man noch eine Sammellinse zu Hilfe nehmen. Die Mikrophotographie ist ein vollkommen exactes Hilfsmittel bei der Lösung der schwierigsten Aufgaben; das Bild, das man erhält, läßt zugleich in unwiderleglicher Weise ein sicheres Urtheil über den Werth des optischen Systems des Mikroskopes fällen. Es gestattet weiterhin verschiedene Wirkungen des Lichtes festzustellen, denen auf anderem Wege nicht beizukommen ist; Interferenz und Beugung des Lichtes lassen sich häufig durch besondere Anordnungen bei den Diatomeen nachweisen."

Derselbe Gelehrte hat noch eine andere nicht weniger merkwürdige Anwendung der mikroskopischen Photographie gemacht, indem er mit deren Hilfe die Krystalle mehrerer Salze im polarisierten Lichte untersuchte. Aber auch der Medicin und der Physiologie hat dieser Zweig der photographischen Kunst nicht minder werthvolle Dienste geleistet: so hat z. B. Dr. Ozanam einen Apparat ersonnen, welcher die Schläge des Pulses in allen ihren Phasen auf photographischem Wege aufzeichnet; es entsteht dabei eine wellenförmige Linie, deren vergrößerte Nachbildung alle Veränderungen und Unregelmäßigkeiten erkennen läßt, welche im Blutlaufe selbst in dem kurzen Intervalle von weniger als einem Tausendstel einer Secunde eintreten können. Kurz alle die unzähligen Entdeckungen, die man mit Hilfe des Mikroskopes in dem gesammten Gebiete der Naturwissenschaft gemacht hat, lassen sich durch die mikroskopische Photographie dauernd festhalten, und durch die Vergrößerung der bildlichen Darstellungen ist es weiter möglich sie einer eingehenderen und besonders auch längeren und ruhigeren Untersuchung zu unterwerfen.

Aber auch in einer ganz anderen praktischen Beziehung hat die mikroskopische Photographie besonders wichtige Dienste geleistet; denn durch diese Kunst wurde es möglich die längsten und umfangreichsten Depeschen auf den Raum weniger Quadratcentimeter zusammenzudrängen, und diese Actenstücke ließen sich nun leicht durch Brieftauben von der Provinz aus nach dem Inneren von Paris entsenden, das vom 19. September 1870 an von den deutschen Heeren rings umschlossen war. Die

erste Einrichtung dieser mikroskopischen Post erfolgte in Tours unter der Leitung eines Photographen dieser Stadt, Namens Blaise; man machte zuerst die photographischen Aufnahmen auf Papier, und auf jeder Seite eines Blättchen konnten zwei Druckseiten zum Abdrucke gelangen. Da aber die körnige Beschaffenheit des Papieres eine stärkere Verkleinerung der Schriftzüge nicht gestattete, und da die Exposition in der Camera obscura in der so ungünstigen Winterszeit zu lange Zeit in Anspruch nahm, so fand bald ein anderes Verfahren Eingang, welches von Dagron vorgeschlagen wurde, der selbst im November mittels Ballon von Paris nach Tours gekommen war: an Stelle des Papiers wurden nämlich die Copien auf sehr dünnen und leichten Häutchen aus Collodium hervorgerufen, die so empfindlich waren, daß sie nur zwei Secunden statt, wie das Papier, zwei Stunden dem Lichte ausgesetzt zu werden brauchten. Einige Einzelheiten des Verfahrens wollen wir einer Schrift entnehmen, die Dagron selbst über diesen Gegenstand veröffentlicht hat:



Fig. 206. Facsimile einer Depesche, die während der Belagerung nach Paris gesendet wurde.

„Jedes Häutchen enthielt die Wiedergabe von zwölf oder sechzehn Druckseiten in Folio (Fig. 206) und umfaßte im Mittel je nach der Größe des Druckes dreitausend Depeschen. Die Leichtigkeit dieser Häutchen gestattete der Verwaltung einer einzelnen Taube bis zu achtzehn Stück mitzugeben, sodaß dieselbe mit ungefähr funfzigtausend Depeschen beladen war, während das Gesammtgewicht noch nicht ein halbes Gramm betrug. Die ganze Reihe der officiellen und Privatdepeschen, welche wir während der Einschließung von Paris angefertigt haben und deren Zahl ungefähr 150000 betrug, wog im Ganzen ein Gramm: eine einzige Taube hätte sie leicht tragen können. Wollte man noch die Zahl der Depeschen mit der Zahl der gelieferten Exemplare multiplicieren, so würde man als Resultat mehr als zwei Millionen fünfmalhunderttausend Depeschen finden, die von uns während der beiden schlimmsten Monate des Jahres abgefertigt worden sind. Man rollte die Häutchen zusammen und steckte sie in einen Federkiel, der an den Schwanz der Taube festgebunden wurde. Ihre außerordent-

liche Biegsamkeit und ihre Undurchdringlichkeit machten sie für diesen Gebrauch vollständig geeignet."

Waren die Depeschen in Paris angelangt, so wurden die Häutchen in einen Projectionsapparat gebracht, in welchem sie durch elektrisches

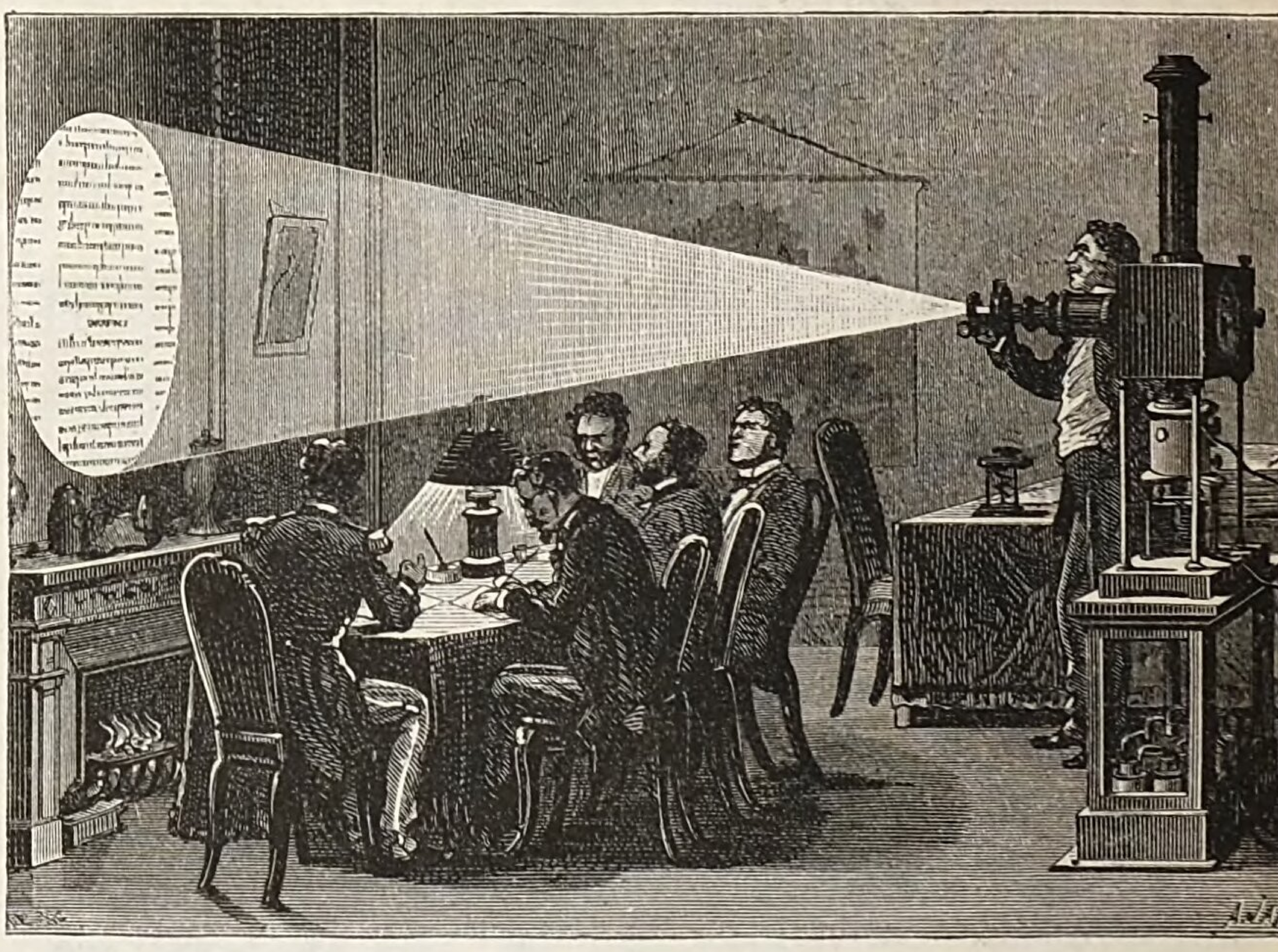


Fig. 207. Vergrößerung und Aufnahme der mikroskopischen Depeschen.

Kohlenlicht beleuchtet wurden, und durch dessen Linse ein vergrößertes Bild der auf ihnen befindlichen Schrift auf einem weißen Schirme erzeugt wurde (Fig. 207), was ohne Schwierigkeit geschehen konnte, da die Collodiumhäutchen da, wo sie nicht mit Schrift bedeckt waren, vollständig durchsichtig blieben. Von dem Bilde auf dem Schirme ließen sich nun leicht Abschriften nehmen.

Siebentes Kapitel.

Die Photolithographie.

§ 1. Fixierung der Bilder durch lithographische Tinte.

Welches Verfahren man auch bei der Fixierung der Daguerreotypbilder oder der Photographien anwenden mag, so wird man ihnen doch niemals die Unvergänglichkeit verschaffen können, welche die Bilder be-

sitzen, die mittels Druckes durch lithographische Tinte oder Buchdruckerschwärze hergestellt sind, da der Bestand dieser letzteren Stoffe fast als unverwüstlich bezeichnet werden kann. Zwar kann man irgendwelche Photographie dadurch ohne Grenzen vermehren, daß man vom Negativ eine beliebige Anzahl positiver Abzüge nimmt, und durch dieses Mittel läßt sich der Bestand eines Bildes etwas sicherer stellen; allein jeder positive Abzug verändert sich doch mit der Zeit und verliert unter der fortdauernden Einwirkung des Lichtes an Schärfe und Deutlichkeit, bis er schließlich vollständig verblichen ist. Aber selbst wenn das Problem der Fixierung der Bilder so vollständig gelöst wäre, daß mit denselben niemals eine Aenderung vor sich ginge, so würde doch die Vervielfältigung auf typographischem oder lithographischem Wege vor der durch photographisches Verfahren bewirkten noch den großen Vortheil gewähren, daß sie eine viel kürzere Zeit in Anspruch nimmt und daß sich die Kosten bedeutend niedriger stellen. Es ist daher kein Wunder, daß man von Anfang an gesucht hat das Verfahren dahin abzuändern und zu verbessern, daß man statt eines einfachen photographischen Abzuges eine Platte erhält, auf welcher sich die Linien erhaben darstellen, sodaß man von ihr, wie von einer Kupferplatte oder einem lithographischen Steine Abzüge nehmen kann. Mit dieser Aufgabe hat sich Niepce bereits beschäftigt, als er noch bei den ersten Anfängen seiner Entdeckung stand, und um ihre Lösung haben sich eine ziemliche Anzahl von Männern der Wissenschaft und der Kunst bemüht.

Zuerst versuchte Fizeau im Jahre 1841 die Bilder der Daguerre'schen Platten auf galvanoplastischem Wege nachzuformen: er ließ aus einer Kupferlösung, durch welche der galvanische Strom ging, das Kupfer sich auf der Platte ausscheiden; dabei formte sich das Bild auf diesem Niederschlage ab, indem alle die Stellen, an denen sich auf der Daguerreschen Platte die Quecksilbertropfen festgehängt hatten, die also im Bilde als Lichter erschienen, Vertiefungen bildeten. Mit der so gebildeten Platte verfertigt man ein zweites Cliché, bei dem die Vertiefungen erhaben werden und umgekehrt, und dieses Cliché benutzt man um von ihm Abzüge zu machen, wie von einer gewöhnlichen gravierten Kupferplatte. Unglücklicherweise waren die Vertiefungen auf diesen Platten so gering, daß die Herstellung scharfer Abdrücke nicht gelang, sodaß man nur sehr verworrene Bilder erhalten konnte. Später versuchte man die

Platten dadurch für den Abdruck herzurichten, daß man Scheidewasser auf sie einwirken ließ, welches anders auf diejenigen Stellen wirkte, an denen sich Quecksilber angehängt hatte, als auf die von ihm freigebliebenen: Grove aber verschmolz beide Methoden, indem er die Platte durch eins der Elemente, das sich im galvanischen Strome ausschied und das in verschiedener Weise auf die beiden Metalle Silber und Quecksilber wirkt, angreifen ließ. Endlich erfand Fizeau ein Verfahren, durch welches die Daguerre'schen Platten selbst so umgewandelt wurden, daß sie wie für den Kupferstich vorbereitete Platten angewendet werden konnten: er setzte nämlich das Bild den Angriffen einer Mischung von Salpetersäure, Untersalpetersäure und Salzsäure bei erhöhter Temperatur aus, durch welche die weißen Stellen keine Aenderung erlitten, während die dunkeln Stellen angegriffen wurden, indem sich auf ihnen eine Schicht vor Chlorsilber bildete, die fest an ihnen hängen blieb und die weitere Einwirkung der Säure hinderte. Diese Schicht wurde durch eine Lösung von Ammoniak abgewaschen, sodaß nun die Einwirkung von Säure von Neuem beginnen konnte, und auf solche Weise ließ sich bewirken, daß die geätzten Stellen sich so weit vertieften als zur Herstellung von Abzügen erforderlich war. Um die vorspringenden Stellen noch besser vor den weiteren Angriffen der Salpetersäure zu schützen, wurden dieselben vergoldet, sobald sie sich nur ein wenig abhoben. Da das Silber keine so große Härte besitzt und da man mithin von einer solchen Platte nur sehr wenige Abzüge machen konnte, so wurde dieselbe, nachdem sie genügend geätzt war, auf galvanischem Wege mit einer dünnen Kupferschicht überzogen; später hat man sogar diese Kupferschicht noch gestählt.

Diese Versuche waren gewiß sehr bemerkenswerth; allein da kurze Zeit nachher das ursprüngliche Verfahren Daguerre's allmählich immer mehr durch die Photographie auf Papier oder auf Glas, das mit Eiweiß oder Collodium überzogen war, verdrängt wurde, so gab man auch die Versuche Daguerre'sche Platten für den Abdruck herzurichten auf. Um das Jahr 1853 stellte der jüngere Niepce auf folgendem Wege Stahlplatten für den Druck her: er bedeckte die Platte, die graviert werden sollte mit einer Schicht von einem Firniß, der aus Asphalt, Benzin, Wachs und Schwefeläther zusammengesetzt war, wozu noch einige Tropfen Lavendelöl gesetzt wurden. Wenn die Platte trocken war, so bedeckte er sie mit einem positiven Bilde, welches auf Papier oder Glas

aufgenommen war, in derselben Weise, als wenn er einen weiteren Abzug von dem Bilde nehmen wollte, und setzte sie dem Lichte aus. Nachdem das Licht genügend lange Zeit auf die Platte gewirkt hatte, wurde dieselbe in eine Mischung von Naphtha und Benzin getaucht und darauf den Angriffen von verdünnter Salpetersäure, die mit Alkohol gemischt war, ausgesetzt: schließlich wurde die Aetzung durch Anwendung von Scheidewasser vollendet.

Seit jener Zeit sind noch viele Methoden aufgefunden worden, durch welche sich Platten darstellen lassen, die für den Abdruck geeignet sind: wir wollen uns aber nur auf die beschränken, welche von Poitevin herrührt, und auch bei der Besprechung derselben werden wir uns in der Hauptsache nur an die Resultate halten: denn diese Beschäftigungen, deren Besprechung wir an die Betrachtung der Photographie anschließen, sind weniger als Anwendungen der Physik, als vielmehr der Chemie anzusehen. Poitevin selbst beschreibt das von ihm erfundene Verfahren auf folgende Weise:

„Um mittels lithographischer Tinte den Gegenabzug eines photographischen Bildes auf Papier, lithographischem Steine, einer Metallfläche oder Holz herzustellen, überzieht man die Oberfläche, welche die Zeichnung aufnehmen soll, mit einer oder mehreren Schichten einer Flüssigkeit, die dadurch gebildet wird, daß man eine gesättigte Lösung von Eiweiß, Fibrin, Gummi arabicum oder einem ähnlichen Stoffe mit einem gleichen Volumen von einer concentrierten Lösung eines chromsauren oder doppeltchromsauren Salzes eines Alkali- oder Erdmetalles mischt, welches die organischen Stoffe der ersten Lösung nicht fällt. Gewöhnlich wendet man hierzu das doppeltchromsaure Kali an. Nachdem die Schicht getrocknet ist, oder auch schon vorher, wenn nämlich die Aufnahme in der Camera obscura geschehen soll, setzt man sie dem Lichte aus, und nachdem die Insolation genügend gewirkt hat, trägt man mit dem Tupfballen oder mit der Presse eine gleichmäßig dicke Schicht von Buchdruckerschwärze oder Farbe auf: wäscht man hierauf die Tinte ab, so bleibt dieselbe nur an den Stellen hängen, die vom Lichte angegriffen worden waren."

Sollten auf einer Platte Erhabenheiten oder Vertiefungen allein durch Einwirkung des Lichtes gebildet werden, ohne daß die ätzende Wirkung der Säuren, noch auch die mechanische Thätigkeit des Grabstichels zur Anwendung kam, sollte also eine Platte entstehen, die ähnlich wie

der typographische Satz oder wie eine Kupferplatte abgedrückt werden konnte, so verfuhr derselbe Erfinder folgendermaßen. Auf eine glatte Fläche wurde eine gleichmäßige Schicht einer Lösung von Gelatine, die mit doppeltchromsaurem Kali getränkt war, gegossen: nachdem die Schicht getrocknet war, wurde ein auf photographischem Wege hergestelltes negatives oder positives Bild darauf gelegt und so das Ganze der Einwirkung des directen oder auch des zerstreuten Sonnenlichtes ausgesetzt; ebenso gut konnte man aber auch dieselbe Platte in die Camera obscura bringen, wenn man Aufnahmen nach der Natur machen wollte. Nachdem das Licht genügend eingewirkt hat, taucht man die Gelatinschicht in Wasser, welches an allen den Stellen, die nicht vom Lichte beeinflußt worden sind, in sie eindringt; dadurch bläht sich die Gelatine dort auf und bildet Erhöhungen, während das Wasser an den Stellen, wo das Licht gewirkt hat, wenig eindringt, sodaß hier die Platte vertieft erscheint: die Erhöhungen entsprechen also den Schatten des Bildes, die Vertiefungen den Lichtern. Auf diese Weise erhält man also eine erhabene Zeichnung auf der Platte von Gelatine, welche man durch das gewöhnliche galvanoplastische Verfahren auf eine Kupferplatte überträgt.

Die Dauerhaftigkeit der so hergestellten Bilder rührt, wie man sieht, von der Anwendung der Druckerschwärze her, zu welcher der Kohlenstoff in Form von Ofenruß als färbendes Mittel verwendet wird: die Entstehung der Bilder dagegen beruht auf der Eigenschaft gewisser organischer Substanzen, wie Eiweiß, Gummi, Gelatine, daß sie unlöslich werden, wenn sie mit doppeltchromsauren Alkalien getränkt und dann der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt werden. Uebrigens hatte Poitevin's Erfindung nicht den Erfolg, den er von ihr erwartete: die kräftigsten Partien des Bildes traten allein deutlich hervor, während die halbdunkeln Stellen vollständig verschwanden; nach Laborde liegt der Grund hierfür darin, daß an diesen Stellen die Einwirkung des Lichtes nur bis zu einer sehr geringen Tiefe hinabreicht, und daß sich die darunter liegende Schicht von Gelatine auch im Wasser auflöst und die schwächeren Theile des Bildes mit fortnimmt. Dieses Uebel hat der Photograph einigermaßen dadurch gebessert, daß er das Bild auf der Seite der Gelatine sich entwickeln ließ, die entgegengesetzt liegt von der dem Lichte ausgesetzten Fläche: und auch sonst hat Poitevin's Verfahren theils durch den Erfinder selbst, theils durch andere Künstler mancherlei Verbesserungen

erfahren und ist seitdem vielfach zur Reproduction von Steindrucken, von Letternsatz und von Stichen verschiedener Art angewendet worden.



Fig. 208. Facsimile eines heliographischen Stiches.

Bei der Wiedergabe photographischer Bilder durch Steindruck verfährt der Erfinder auf folgende Weise: man bringt auf den abgeschliffenen

Stein eine Schicht von Eiweiß und doppeltchromsaurem Kali, auf welche man, wenn sie trocken ist, ein photographisches Negativ legt, und setzt ihn dann dem Lichte aus. Dadurch wird der Stein in der Weise abgeändert, daß die Tinte nur an den Stellen haftet, auf welche das Licht eingewirkt hat, die also, da die aufgelegte Platte ein Negativ war, den Schatten und Halbschatten des wirklichen Gegenstandes entsprechen. Die Abzüge werden dann ebenso angefertigt, wie beim gewöhnlichen Steindrucke. In Fig. 208 geben wir die Nachbildung eines auf solche Art angefertigten Druckes.

§ 2. Erhabener Druck. Verfahren nach Woodbury.

Angeregt durch das von Poitevin erfundene Verfahren hat ein englischer Gelehrter Namens Woodbury eine neue Methode erfunden, durch welche Platten hergestellt werden, auf denen die abzudruckenden Stellen erhaben sind. Derselbe überzieht eine Stahlplatte mit Gelatine, der ein doppeltchromsaures Salz zugesetzt ist, läßt das Licht auf sie wirken und taucht sie in Wasser, wodurch wie bei dem vorher besprochenen Verfahren die Stellen, auf die das Licht nicht gewirkt hat, anschwellen, und trocknet die Platte bei gelinder Wärme. Hierauf bedeckt Woodbury diese Platte, auf welcher die dem Lichte entsprechenden Stellen vertieft, die Schatten erhaben erscheinen, mit einer Metallplatte, welche aus einer Legierung von Letternmetall und Blei besteht, und bringt beide unter eine hydraulische Presse; nachdem der Druck gewirkt hat, erscheinen die Stellen, die auf der Gelatine erhaben waren, auf der Metallplatte vertieft, und umgekehrt. Diese Metallplatte wird nun für den Druck gebraucht; aber auch das Verfahren, wie die Abzüge gemacht werden, weicht von dem gewöhnlichen wesentlich ab: es besteht darin, daß man die Platte mit einer Tinte übergießt, die aus Gelatine besteht, welche durch Ruß geschwärzt ist, daß man darauf das Papier legt, das bedruckt werden soll, und dasselbe mit einer Glasplatte bedeckt. Das Ganze wird nun einem gelinden Drucke unterworfen und dadurch der Ueberschuß an Flüssigkeit herausgebracht, sodaß dieselbe nur noch in den Vertiefungen zurückbleibt. Sobald die Tinte getrocknet und hart geworden ist, wird das Papier aus der Presse herausgenommen und von der Platte abgehoben, wobei die dunkle Schicht aus Gelatine an ihm haften

bleibt: dieselbe bildet also auf dem Papiere eine erhabene Zeichnung, welche freilich nicht gar zu haltbar ist; der größte Vorzug dieser Bilder besteht darin, daß sich die Tiefe des Schwarz nach der Dicke der Schicht vom ganz Dunkeln bis zum Weiß sehr gut abstuft, daß also die Zwischenstufen des Lichtes vollständig der Natur getreu wieder gegeben werden.

Dies sind die Grundzüge der Methoden, durch welche auf photographischem Wege Platten hergestellt werden, von denen die Bilder direct abgedruckt werden können, und die fast alle im Wesentlichen darauf beruhen, daß die mit chromsauren Salzen gemischte Gelatine sich unter dem Einflusse des Lichtes verändert, daß sie nämlich unlöslich wird. Welche Veränderungen und Verbesserungen an dem Verfahren weiter angebracht sind, wie z. B. besonders der Münchner Photograph Albert die Methode so weit abgeändert hat, daß sie fast als eine von ihm ausgehende neue Erfindung anzusehen ist, die man mit dem Namen der Albertotypie belegt hat, das zu besprechen würde die Grenzen dieses Buches weit überschreiten. Allein so erfreulich auch die Fortschritte sind, die man in diesem Punkte gemacht hat, so leiden doch alle bis jetzt hergestellten Platten an dem großen Uebelstande, daß die Zahl der Abzüge, die man von ihnen nehmen kann, nur eine sehr beschränkte ist; so lange dem nicht abgeholfen ist, wird auch die Verwendung des Verfahrens immer eine beschränkte bleiben.

§ 3. Die Heliochromie.

Alle die Bilder, welche man bisher durch die Einwirkung des Lichtes anzufertigen gelernt hat, zeigen die Gegenstände zwar sehr deutlich in ihren Umrissen, wie auch in den Abstufungen von Hell und Dunkel, aber vollständig fehlt ihnen das eine sehr wichtige Moment, nämlich die Verschiedenheit der Färbung. Bei den Photographien hat man sich bisweilen dadurch geholfen, daß man nachträglich Farben auf dieselben aufgetragen hat, allein damit ist man vollständig von dem Principe abgewichen, die Bilder der Gegenstände ohne eigene Thätigkeit nur durch die Einwirkung des Lichtes herstellen zu lassen, und es entsteht daher die Frage, ob es nicht gelingen dürfte, nur unter dem Einflusse des Lichtes Bilder anzufertigen, welche die Gegenstände in ihrer natürlichen Färbung zeigen. Zwar sind die Fortschritte, welche man bei den Unter-

suchungen in diesem Theile der Photographie, den man als Heliochromie bezeichnet, gemacht hat, noch außerordentlich gering und es ist nicht viel Aussicht vorhanden, daß man in der nächsten Zeit das Problem seiner Lösung näher bringen wird: bei alledem darf man sich aber nicht entmuthigen lassen, die Versuche fort zu führen, denn so gut sich das Bild in der Camera obscura auf der mattgeschliffenen Glastafel unserem Auge als ein farbiges Bild darstellt, so ist es immer möglich, daß es auch dereinst auf den photographischen Platten in gleicher Weise erscheinen wird. Was bis jetzt in dieser Richtung geleistet worden ist, wollen wir nun in der Kürze besprechen.

Im Jahre 1848 zeigte Edmund Becquerel der Akademie der Wissenschaften an, daß es ihm gelungen sei das Sonnenspectrum mit allen seinen Farben auf einer empfindlichen Schicht herzustellen. Er benutzte dazu eine mit Silber plattierte Tafel, tauchte diese in verdünnte Chlorwasserstoffsäure und setzte sie der Einwirkung der Volta'schen Säule aus, wodurch sich die Platte mit einer Schicht von Chlorsilber bedeckte. Sobald die Farbe dieser empfindlichen Schicht zum zweiten Male sich dem röthlichen Violett näherte, setzte er sie dem Lichte eines Spectrum aus, welches er mit Hilfe einer Linse darstellte. „Die empfindliche Schicht erschien als roth im Roth, als gelb im Gelb, als grün im Grün, als blau im Blau und als violett im Violett. Am rothen Ende geht die Färbung in Purpur über und erstreckt sich sogar noch über die Fraunhofer'sche Linie A hinaus; die violette Färbung aber reicht weit über die Linie H hinaus und wird allmählich immer schwächer. Läßt man das Spectrum längere Zeit einwirken, so verdunkeln sich die Tinten und das Bild nimmt endlich den metallischen Glanz wieder an; die Farben sind dann vollständig verschwunden."

Diese Farben erhielten sich im Dunkeln eine kurze Zeit; im Tageslichte dagegen verschwanden sie sehr schnell und Becquerel fand kein Mittel um sie zu fixieren. Das weiße Licht verwandelte sich merkwürdiger Weise in Schwarz; wenn man die Platte aber bis auf 80 bis 100° erwärmte, so brachte auch das weiße Licht den Eindruck von Weiß hervor. Wenn Becquerel auf die mit Chlor behandelte Platte ein farbiges Bild legte, so erhielt er auch, nachdem dasselbe genügend lange dem Sonnenlichte ausgesetzt war, eine farbige Copie des Bildes; nur mußte man die Strahlen der Sonne erst durch eine Lösung von

schwefelsaurem Chinin gehen lassen um die Einwirkung der ultravioletten Strahlen unschädlich zu machen, denn diese Strahlen würden dem Bilde eine mehr graue Färbung geben.

Niepce de Saint-Victor hat Becquerel's Verfahren etwas abgeändert, und auch ihm ist es gelungen Bilder in ihren Farben zu copieren; bei seiner Methode blieben auch Weiß und Schwarz sogleich in ihrem richtigen Verhältnisse. Die empfindliche Platte muß aber dabei in besonderer Weise behandelt werden: man muß sie nämlich noch einmal erwärmen, bis sie eine bläulich violette Färbung annimmt, und sie dann mit einem Firniß bedecken, der aus Dextrin und Chlorblei besteht. „Durch Aufeinanderlegen, sagt der Genannte, habe ich ein farbiges Bild copiert, das einen französischen Gardisten darstellt: die verschiedenen Farben der Uniform erschienen deutlich; der schwarze Hut, wie auch die eine der Gamaschen (die andere war ausgeschnitten und die Lücke mit einem weißen Blatte bedeckt) brachten auf der Platte eine mehr oder weniger dunkle Färbung hervor, je nachdem die Platte hergerichtet war. Der Ausschnitt aber gab Weiß."

Niepce hat bei seinen Versuchen die Erfahrung gemacht, daß es sehr von der Stärke der Concentration der Chlorlösung, durch welche die empfindliche Platte zubereitet wird, abhängt, ob sich die eine oder andere Farbe leichter entwickelt: bei Anwendung einer schwachen Lösung erscheint das Gelb am leichtesten; erhöht man allmählich den Gehalt an Chlor, so erhält man Grün, Blau, weiter Indigo und Violett; die concentriertesten Lösungen sind erforderlich für die am wenigsten brechbaren Farben, nämlich Roth und Orange. Ein anderes merkwürdiges Resultat, zu dem er gelangte, ist die Beobachtung, daß die Metallchlorüre einen ähnlichen Einfluß ausüben je nach der Farbe welche sie einer Flamme ertheilen, in der sie sich verflüchtigen: setzt man also z. B. der Lösung eine gewisse Menge von Chlornatrium oder Kochsalz zu, welches bekanntlich die Weingeistflamme gelb färbt, so entwickelt sich das Gelb mit der größten Intensität; dagegen ist dies für Grün der Fall, wenn man Chlorkupfer, für Roth, wenn man Chlorstrontium zusetzt.

Leider haben sich diese Resultate, welche vom Gesichtspunkte der reinen Wissenschaft betrachtet ein sehr hohes Interesse gewähren, für die praktische Ausführung der Photographie in keiner Weise verwerthen lassen: denn diese durch das Licht hervorgerufenen Farben bleiben auf der

empfindlichen Platte nur so lange, als dieselbe in vollständigem Dunkel aufbewahrt wird; man kann sie daher nur während ganz kurzer Zeit beobachten, und im Tageslicht verschwinden sie außerordentlich schnell: alle Bemühungen sie zu fixieren, sind bis jetzt vollständig gescheitert. Außer Becquerel und Niepce ist es besonders Poitevin, der sich auch mit der Lösung dieser Aufgabe beschäftigt hat, und ihm ist es gelungen die Mehrzahl der Spectralfarben, besonders aber Roth, Orange und Gelb, auf einem mit Silbersalz getränktem Papiere hervorzurufen, welches mit einer Schicht bedeckt ist, die aus einer Lösung eines doppeltchromsaurem Alkalisalzes besteht, dem eine gesättigte Lösung von Kupfervitriol und eine fünfprocentige Lösung von Chlorkalium beigesetzt ist. Wird das so präparierte Papier zehn Minuten lang den Sonnenstrahlen ausgesetzt, welche durch eine Glasmalerei hindurch gehen, so erscheinen auf ihm die Farben derselben: aber auch diese Farben vergehen sehr bald im Lichte.

Da die bisher besprochenen Methoden in keiner Weise die Möglichkeit ergaben Bilder von irgend welcher Dauer anzufertigen, so hat man versucht auf anderem Wege eine Lösung des Problems aufzufinden: ohne Zweifel führte das Verfahren, welches bei der Chromolithographie angewendet wird, zu dem Gedanken, daß man suchen müsse die Farben einzeln herzustellen, deren Vereinigung die natürliche Farbe der Gegenstände wiederzugeben im Stande ist. Durch Zusammensetzung von drei Abzügen, von welchen der eine nur das Roth, der zweite nur das Gelb und der dritte nur das Blau wieder giebt, glaubte man auch die Mischfarben herstellen zu können, wenn die Abzüge nur in geeigneter Weise durch Aufeinanderlegen oder in irgend welcher anderen Weise zur Deckung gebracht würden. Diese Lösung ist gleichzeitig durch zwei Photographen Cros und Ducos du Hauron aufgefunden worden, aber nur der zuletzt genannte hat sie praktisch zur Ausführung gebracht. Das Verfahren, das er anwendete, ist wesentlich das Folgende.

Man verfertigt zunächst drei Negative, von denen das eine dazu dient das rothe Positiv herzustellen, das zweite und dritte aber in gleicher Weise zur Herstellung des gelben und blauen Positivs bestimmt sind. „Um das blaue Negativ anzufertigen muß man alle einfachen oder zusammengesetzten blauen Tinten des darzustellenden Gegenstandes auslöschen, damit dieselben in keiner Weise auf die empfindliche Schicht wirken können:

zu diesem Zwecke muß man das Licht durch ein orangefarbenes Glas gehen lassen. Hat man die Platte unter diesem Glase dem Lichte lange genug ausgesetzt, wozu natürlich eine ziemlich lange Zeit erforderlich ist, so hat man dadurch ein Bild erhalten, in welchem das Blau und die mit ihm zusammengesetzten Farben auf die empfindliche Schicht nur eine sehr schwache Wirkung ausgeübt haben, während das Gelb in genügender Weise zur Wirkung gelangt ist. In gleicher Weise erhält man das Negativ für das rothe Bild dadurch, daß man die rothen Strahlen mittels eines grünen Glases auslöscht. Für das gelbe Bild schaltet man bei der Aufnahme ein violettes Glas ein.

„Diese drei Negative dienen zur Anfertigung von je einem Positiv, welches man auf einer Mischung von Gelatine und doppeltchromsaurem Kali entstehen läßt, der noch die erforderliche färbende Substanz zugefügt ist, sodaß das eine Bild in rother, ein zweites in gelber, ein drittes in blauer Färbung erscheint. Wenn die gelatinierten Oberflächen auf durchsichtigen Unterlagen fertig bereitet sind, so bedeckt man sie mit den entsprechenden Negativen und setzt sie dem Lichte aus. Das mit dem violetten Glase hergestellte Negativ wird auf die gelbe Schicht gelegt und dadurch erhält man nach der Waschung ein einfarbig gelbes Bild; das mit dem grünen Glase hergestellte Negativ wird für die rothe Gelatine verwendet; ebenso das mit dem orangefarbenen Glase aufgenommene für die blaue Gelatine. Ist die Einwirkung des Lichtes erfolgt und sind die Bilder hervorgerufen und abgetrocknet, so werden dieselben übereinander gelegt und geben dann ein mehrfarbiges Bild, in welchem die ganze Reihe der Tinten in ihren Abstufungen sich vorfindet.“

Die Bilder, welche Ducos du Hauron hergestellt hat, beweisen, daß die Vorgänge wirklich so erfolgen, wie er nach den theoretischen Betrachtungen, die ihn zu diesem Verfahren geführt hatten, erwartet hatte: so interessant dieses Resultat aber auch sein mag, so bleibt doch immer noch die viel wichtigere Aufgabe zu lösen, daß man die Gegenstände in ihren natürlichen Farben darzustellen und die so erhaltenen Bilder zu fixieren lerne.

§ 4. Anwendung der Photographie auf Künste und Naturwissenschaften.

Im Vorstehenden haben wir, wenn auch nur in den wesentlichen Grundzügen, die Methoden kennen gelernt, die bei dieser neuen Kunst zur Anwendung kommen, und bei denen die Gesetze der Physik in Verbindung mit denen der Chemie eine der merkwürdigsten Verwendung für praktische Zwecke gefunden haben. Wir haben dabei der wichtigsten Verbesserungen Erwähnung gethan, die von den ersten Versuchen, die Niepce und Daguerre anstellten, an den verschiedenen Verfahrungsarten angebracht worden sind, haben uns aber natürlich darauf beschränken müssen, daß wir von den Methoden, auf welche sich die Praxis der Photographie gründet, eine allgemeine Vorstellung zu geben und sie auf die Principien der Wissenschaft zurückzuführen versuchten. Dabei müssen wir aber immer im Auge behalten, daß die Reactionen, welche die Wellenbewegung des Lichtes herbeiführen, noch keineswegs vollständig aufgeklärt sind, und hier giebt es ein sehr großes Feld, das zur Zeit noch vollständig im Dunkeln liegt; dieses Gebiet aufzuklären ist aber selbstverständlich die Aufgabe der Männer der Wissenschaft, der Physiker und Chemiker, während dem Photographen von Profession, so geschickt er auch sonst sein mag, diese Aufgabe nicht zugemuthet werden kann.

Trotz der Unkenntniß, in der wir uns noch über das innere Wesen der Vorgänge befinden, hat aber die Photographie den Künsten und Wissenschaften die wesentlichsten Dienste geleistet: ja sie ist selbst bis zu einem gewissen Grade als eine Kunst anzusehen, welche an diejenigen, die sie ausüben, Ansprüche stellt, die durch einfache technische Geschicklichkeit sich nicht befriedigen lassen. Die Auswahl unter den darzustellenden Gegenständen, besonders wenn es sich um Aufnahme von Landschaften handelt, die richtige Anordnung der Stellungen und der Beleuchtung, die für die wahrhaft künstlerische Wiedergabe sich am besten eignet, erfordern Fähigkeiten, die durch die Erziehung zwar weiter entwickelt werden können, wenn sie nur von Natur schon überhaupt vorhanden sind, mit denen aber nicht jeder Praktiker begabt ist, so vertraut er auch sonst mit den Handgriffen der Photographie sein mag.

Daß die Photographie den Künsten sehr große Dienste erwiesen hat, ist unbestreitbar: denn durch sie sind die Kunstwerke aller Länder zum

Gemeingute geworden und durch diese Mittel ist allenthalben der Sinn für die Kunst geweckt und angeregt und der Geschmack gebildet und verfeinert worden. Besonders werthvoll sind die Nachbildungen der Werke der Architectur und der Sculptur: die photographischen Abbildungen aller erhabenen Gegenstände besitzen eine Genauigkeit der Zeichnung im Einzelnen, wie in dem Gesammteindrucke, wie sie durch den Stich nur mit Mühe erreicht, niemals aber übertroffen werden kann; dem Zeichner selbst aber, wie dem Kupferstecher und Maler können die photographischen Aufnahmen als nützliche Hilfsmittel dienen. Nicht in ganz demselben Maße eignet sich die Photographie für die Nachbildung von Gemälden, weil die verschiedenen Farben nicht in gleichem Grade auf die empfindlichen Stoffe einwirken, besonders wird das Blau im Verhältnisse zu den andern Farben viel lichter, Gelb und Grün aber dunkler, ja letzteres erscheint leicht fast ganz schwarz; es geschieht daher nicht selten, daß die photographische Aufnahme eines Gemäldes zwar in der Zeichnung nichts zu wünschen übrig läßt, in der Wiedergabe der Tinten aber als nur mittelmäßig bezeichnet werden muß. Ganz unschätzbare Dienste aber hat die Photographie durch die Nachbildung alter und seltener Kupferstiche, für welche die Platten verloren gegangen oder stark abgenutzt sind, geleistet und in dieser Beziehung wird sie den Künstlern und Kunstfreunden auch fernerhin stets von großem Nutzen sein.

Die Einschränkungen, welche wir vom rein künstlerischen Gesichtspunkte aus machen mußten, haben keine Bedeutung, wenn es sich um die Anwendung der Photographie auf die Naturwissenschaften und verwandte Gebiete handelt. Geographie, Ethnologie und Anthropologie haben zuerst Nutzen aus ihr gezogen, und die Nachbildung der Landschaften, der Berge in ihrer Gestaltung und gegenseitigen Lage, der Städte und Hafenplätze, der Baudenkmäler, der Bewohner verschiedener Länder, ihrer Kleidung und Wohnung, ihrer Hausgeräthe und Waffen u. s. w. sind jetzt sicher gestellt vor der Ungeschicklichkeit der Zeichner, vor der meist unfreiwilligen, bisweilen aber auch absichtlichen Ungenauigkeit in den Erzählungen der Reisenden, sodaß in allen diesen Beziehungen eine Uebertreibung und Entstellung der Wahrheit nicht mehr möglich ist. Besonders die Anthropologen haben in diesen genauen bildlichen Darstellungen der verschiedensten Völkerschaften das beste Mittel um über

die wahren Unterscheidungsmerkmale der Menschenracen und ihrer zahllosen Varietäten sich Klarheit zu verschaffen.

Die Naturgeschichte, die Medicin, Anatomie und Physiologie ziehen nicht geringeren Nutzen aus den Anwendungen der Photographien, denn durch dieselbe erschließen sich ihnen zahllose Hilfsquellen für ihre speciellen Untersuchungen. Während man früher Präparate der verschiedensten Art, welche Unregelmäßigkeiten im Baue der Pflanzen, der Thiere oder auch des Menschen darstellen, nur mit Mühe und vielen Kosten und in dem jedesmal einzigen Exemplare aufbewahren konnte, so lassen sich jetzt mit Leichtigkeit Abbildungen derselben herstellen, in denen alle Formen

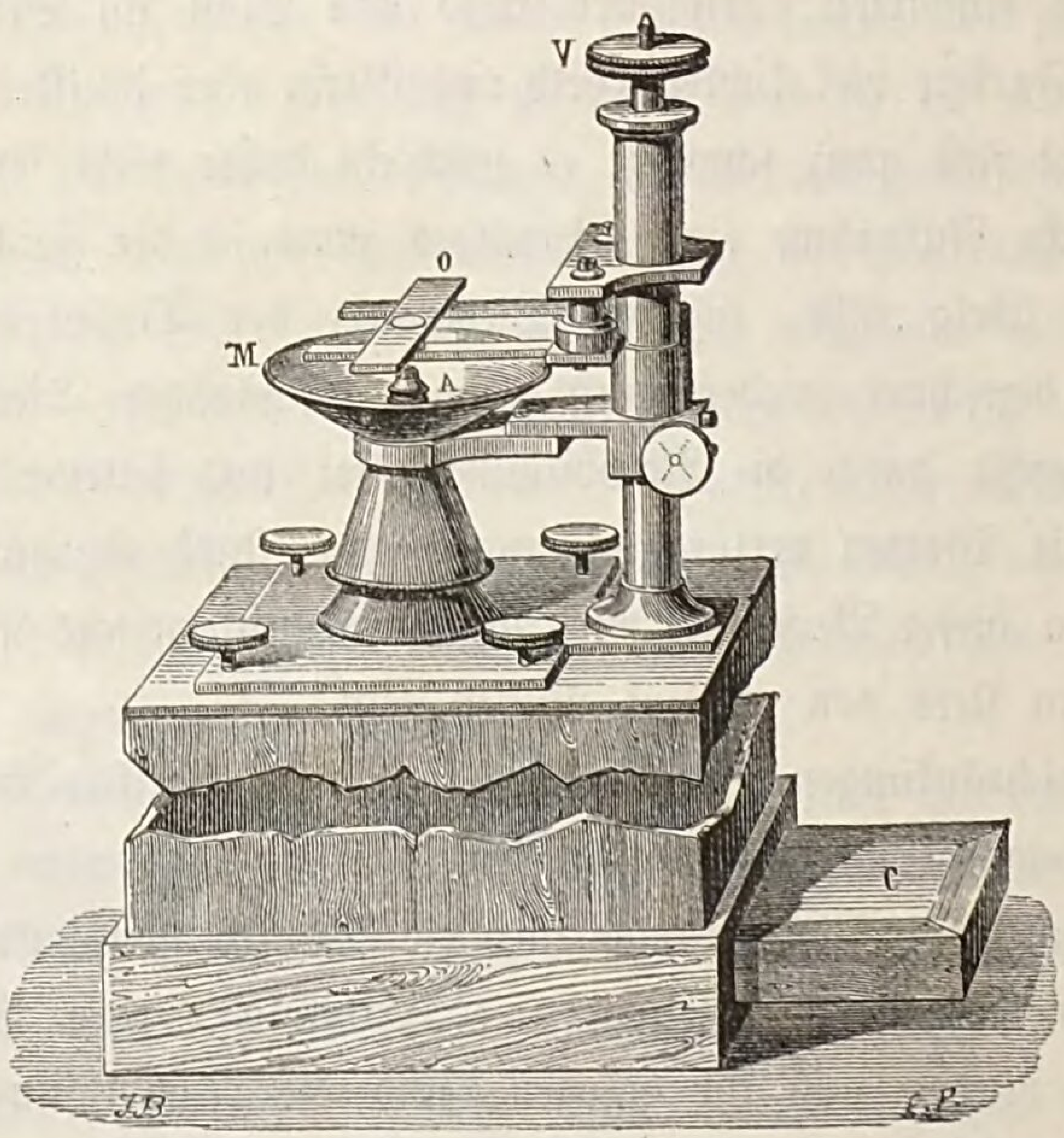


Fig. 209. Photographisches Mikroskop.

mit der größten Genauigkeit wiedergegeben und alle Einzelheiten bis zu den feinsten Details aufgezeichnet sind, und von denen man auch eine beliebige Anzahl herstellen kann, welche gleichzeitig von vielen Gelehrten der Untersuchung unterworfen werden können. Besonders werthvoll aber ist für diese Wissenschaften das Verfahren, durch welches vergrößerte Abbildungen von mikroskopischen Objecten auf photographischem Wege hergestellt werden können: man bedient sich dazu eines Apparates (Fig. 209), bei dem sich über einer Camera obscura, in welche die empfindlichen

Platten eingeschoben werden können, und die in unserer Abbildung als ein durchbrochener Kasten dargestellt ist, ein Mikroskop befindet, welches von den kleinen, gut beleuchteten Objecten, die auf einem Objectträger über dem Objective liegen, auf der empfindlichen Platte ein Bild erzeugt. Die Nachbildung einer auf solchem Wege hergestellten Photographie einer scheibenförmigen Diatomee (Arachnoidiscus) geben wir in Fig. 210. Was wir oben von der Darstellung der verschiedenen Menschenracen sagten, das gilt aber in noch höherem Grade für die Welt des unendlich Kleinen, für alle die feinen Körperchen, aus denen sich die Gewebe der Pflanzen- und Thierwelt zusammensetzen, und für alle die unzähligen Individuen aus beiden Reichen, die vom unbewaffneten Auge nicht mehr unterschieden werden können. Sollen diese Gegenstände auf gewöhnlichem Wege bildlich dargestellt werden, so ist dazu nicht allein ein sehr hoher Grad von Geschicklichkeit erforderlich, wenn das Bild die Wirklichkeit genau wiedergeben soll, sondern die Arbeit verlangt auch einen sehr großen Aufwand an Mühe und Zeit: besonders aber bei wissenschaftlichen Reisen ist daher eine solche Herstellung der Bilder geradezu unmöglich, ganz abgesehen davon daß man nicht von jedem Reisenden eine so hohe Fertigkeit in der Zeichenkunst verlangen kann. Ist dagegen der Reisende mit einem photographischen Apparate und den sonstigen nothwendigen Hilfsmitteln ausgerüstet, so kann er mit verhältnißmäßig geringer Mühe und in kurzer Zeit von einer großen Zahl von Objecten Abbildungen sammeln, die besonders dadurch werthvoll sind, daß bezüglich ihrer Genauigkeit gar kein Zweifel entstehen kann.

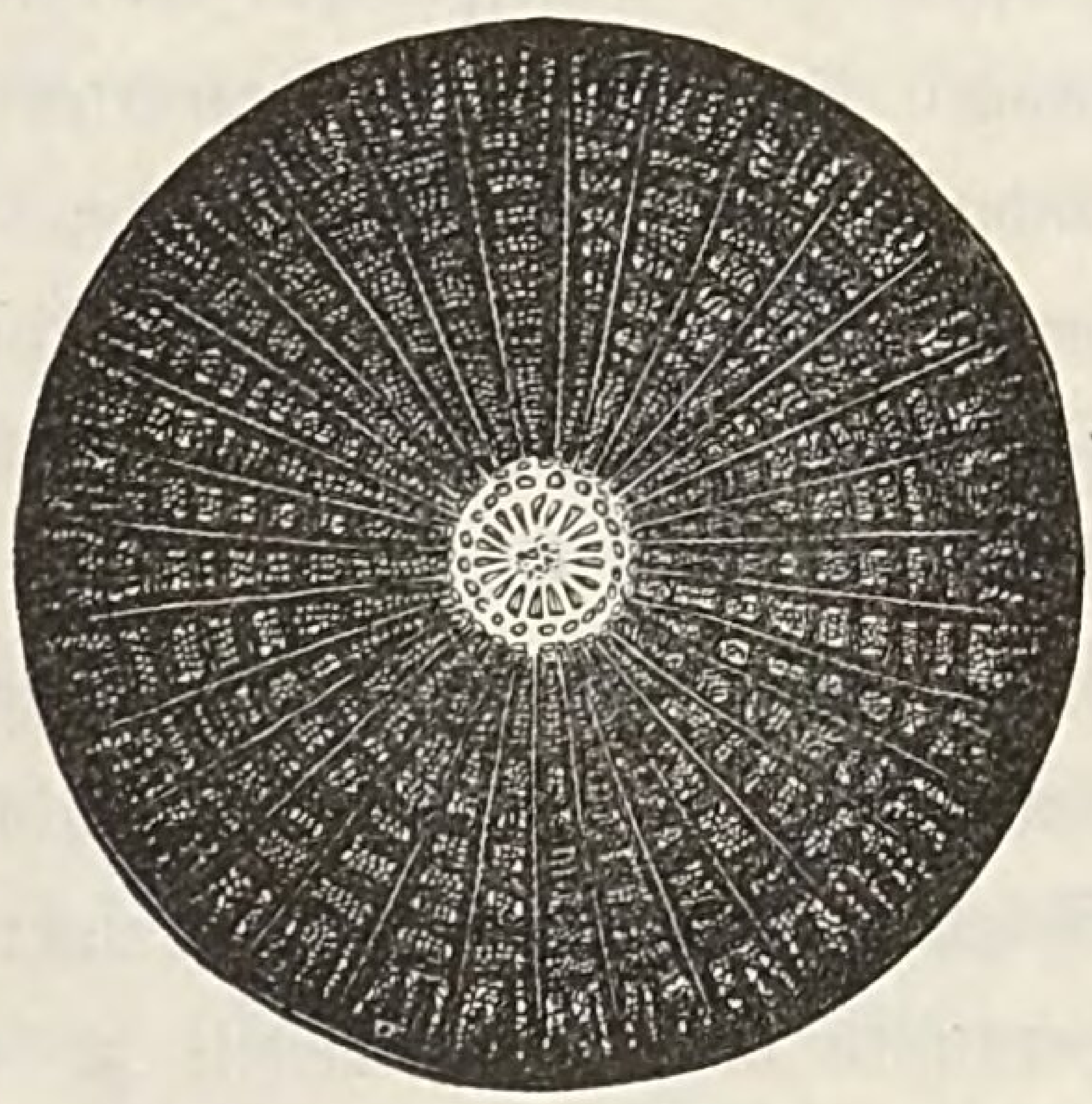


Fig. 210. Nachbildung der mikroskopischen Photographie einer scheibenförmigen Diatomee.

Vom unendlich Kleinen wenden wir uns zum unendlich Großen, nämlich zu der photographischen Nachbildung der Himmelskörper: auch auf diesem Gebiete hat die neue Kunst gute Dienste geleistet, indem man sie auf die Sonne mit ihren Flecken, auf den Mond mit seinen Bergen, auf die Erscheinungen, die sich bei den Finsternissen und bei dem Vorübergange der unteren Planeten vor der Sonnenscheibe zeigen, auf die

Planeten und andere Gestirne anwendete. Daß auch in Zukunft die Photographie der Astronomie noch manchen großen Nutzen schaffen wird, ist nicht zu bezweifeln, wenn auch manche Erwartungen, die man bezüglich der Leistungen dieser Kunst hegte, nicht vollständig in Erfüllung gegangen sind: in wie weit die Erfolge hinter jenen Erwartungen zurückgeblieben sind, darüber hat sich vor zehn Jahren der berühmte Astronom Mädler in einer Versammlung britischer Naturforscher ungefähr folgendermaßen ausgesprochen.

Die Mehrzahl der noch jetzt lebenden Personen können sich recht wohl erinnern, daß unmittelbar nach der Erfindung der Photographie Hoffnungen ausgesprochen wurden, die ihresgleichen nur in den Erwartungen hatten, welche Descartes und seine Zeitgenossen infolge der Erfindung der Fernrohre hegten. Man beklagte die armen Gelehrten, welche ihr ganzes Leben ohne Unterbrechung mit Beobachten, Messen und Zeichnen zugebracht hatten. Nicht allein daß dasselbe nunmehr ohne Mühe und in sehr viel kürzerer Zeit geleistet werden könnte, so mußten die jetzt erhaltenen Resultate zugleich auch viel bessere, nämlich viel genauere und detailliertere sein als die früheren; und wenn der genannte Gelehrte sieben Jahre gebraucht hat um die Oberfläche des Mondes genau in allen Einzelheiten zu erforschen, so müßte dies jetzt in Zeit von sieben Secunden viel besser ausgeführt werden können. Allein wie haben sich diese stolzen Hoffnungen wohl jetzt erfüllt, nachdem seit der Entdeckung Daguerre's dreißig Jahre verflossen sind?

Warren de la Rue in England, William Cranch Bond in Amerika und andere haben muthig Hand ans Werk gelegt. Sie befestigten mächtige astronomische Fernrohre an photographische Apparate, und sie wußten ihren Instrumenten während des kurzen Zeitraumes, der für die Hervorrufung der Bilder erforderlich ist, dieselbe Bewegung zu ertheilen, welche die Himmelskörper haben, deren Abbildung sie anfertigen wollten. So wurde der Mond in seinen verschiedenen Phasen photographiert; aber die Einzelheiten blieben weit hinter denen zurück, die ein geschickter Beobachter feststellen kann. Bond hat sich mit den Fixsternen beschäftigt und verfügte dabei über ein astronomisches Fernrohr, das die Sterne vierzehnter Größe wahrzunehmen gestattete; allein er konnte nur schwache, kaum sichtbare Bilder von den Sternen der fünften Größe erhalten.

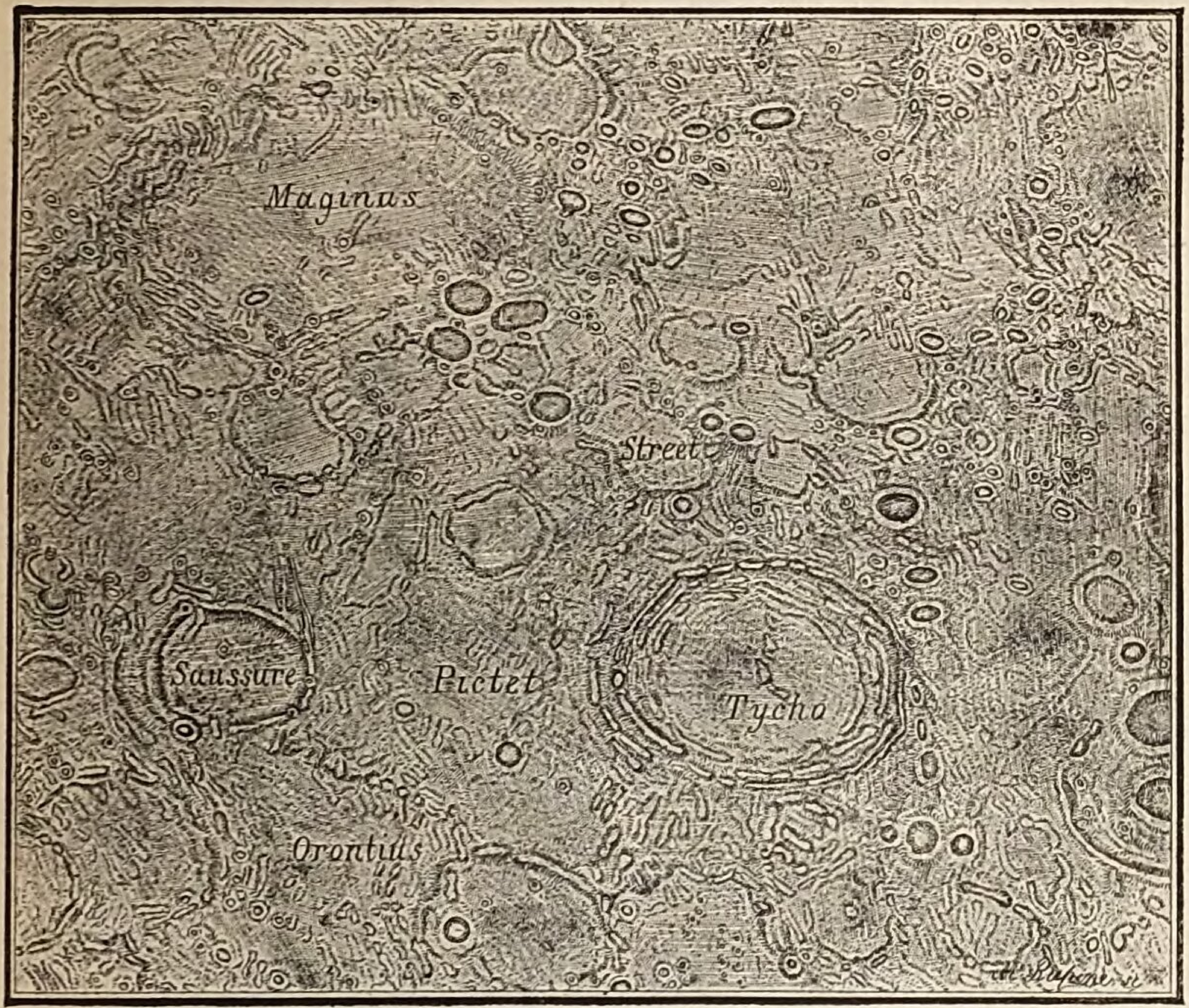
Wohl könnten wir sehr werthvolle Abbildungen namhaft machen, die

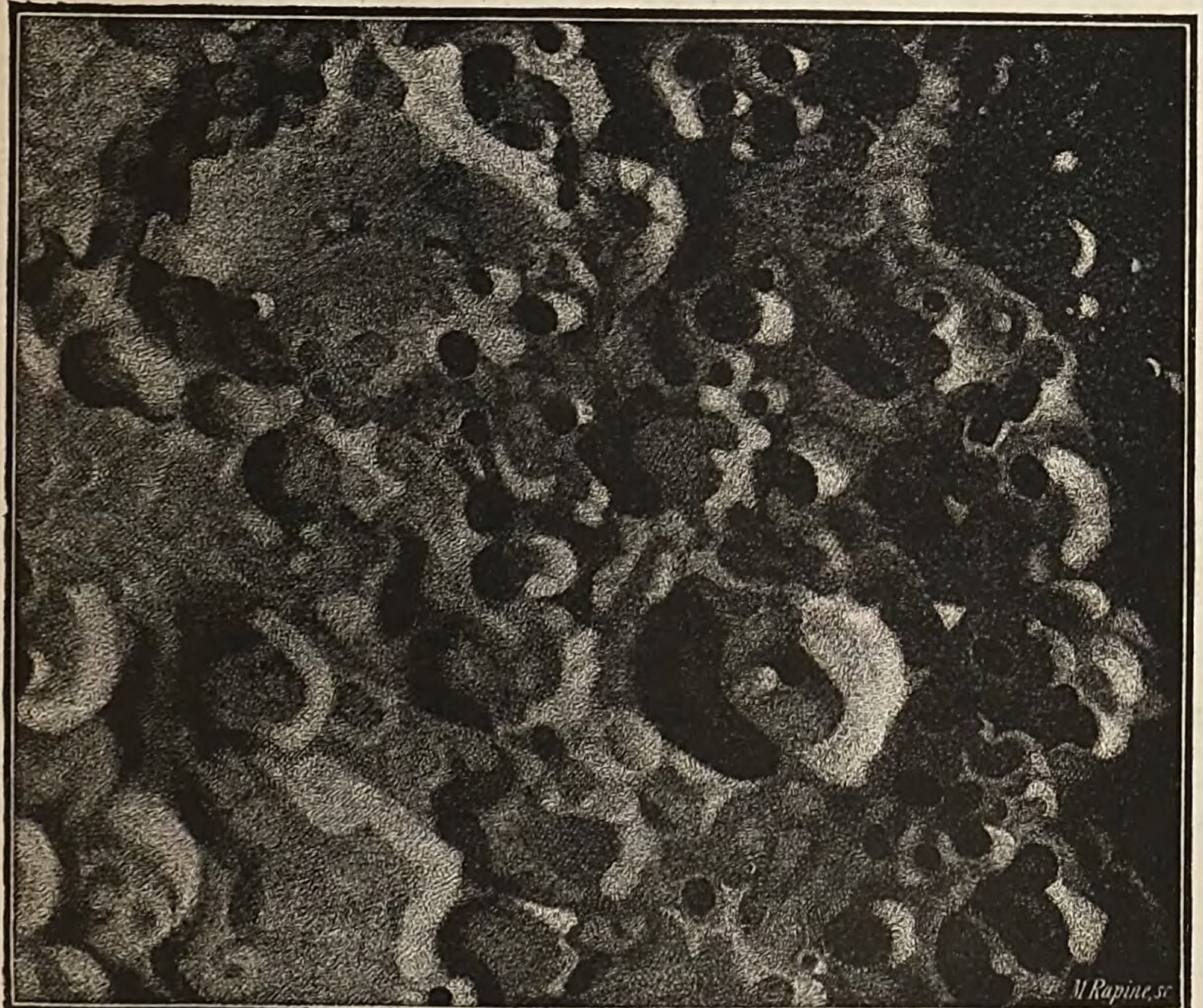
wir der astronomischen Photographie verdanken; allein es sind nicht die einzelnen Gegenstände des gestirnten Himmels, denen man auf diesem Wege beikommen und deren Darstellung man aufbewahren kann: sondern nur gewisse Erscheinungen die sich auf Gegenstände beziehen, welche schon längst bekannt sind und welche uns ein starkes Licht senden. An erster Stelle sind in dieser Beziehung die Sonnenflecken zu nennen, deren Abbildung nur einen kleinen Bruchtheil einer Secunde erfordert und die sich mit großer Schärfe darstellen lassen. Und selbst in diesem Falle gelingt es nicht alle Einzelheiten zu fixieren, welche gute Beobachter, die an die Beobachtung dieser Erscheinungen gewöhnt sind, festzustellen vermögen; aber man erhält, was speciell sehr wichtig ist, das Bild der Sonne für einen bestimmten Augenblick und zwingt damit die Sonne, wenn wir uns eines Ausdruckes des Sir John Herschel bedienen wollen, ihre eigene Geschichte zu schreiben.

Dieses Verfahren wird besonders bei den totalen Verfinsterungen der Sonne sehr nützlich werden, oder richtiger gesagt, ist es bereits geworden. Es giebt keinen Zeichner, welcher bei aller Geschicklichkeit, die er besitzen mag, in der Zeit von zwei bis drei Minuten, der gewöhnlichen Dauer jener Naturerscheinung, im Stande wäre das zu leisten, was Warren de la Rue bei einer totalen Verfinsterung der Sonne, die er in Spanien beobachtete, geleistet hat; denn unter der Voraussetzung, daß alle Vorbereitungen getroffen sind, kann man nicht blos drei, sondern zwölf oder fünfzehn Bilder von einer Erscheinung, die so schnell vorübergeht, erhalten. Für die Planeten, selbst für die großen, ist die Photographie von geringem Nutzen und wir werden durch sie wenig Neues erfahren. Noch weniger nützlich wird sich das Verfahren erweisen, wenn man es auf die Fixsterne anwendet. Man hat die Gruppe der Plejaden und den Sternhaufen im Orion photographiert und man konnte in den so erhaltenen Bildern die Constellationen wohl erkennen; aber ein gesundes Auge sah ohne Fernrohr am Himmel mehr Dinge, als ihm die Photographie zeigte. Wir können uns Glück wünschen zu dem neuen Hilfsmittel für die Untersuchungen, welches mehrere Sternwarten, unter denen wir besonders die zu Wilna anführen, in vollendeter, oder wenigstens nahezu vollendeter Form besitzen; aber wir dürfen nicht erwarten, daß sich der Kreis der Thätigkeit der praktischen Astronomie durch dasselbe wesentlich erweitert, und die Kunst des Beobachtens wird

durch die Erfindung der Photographie nicht in gleicher Weise von Grund aus neu gestaltet werden, wie sie es einstmals durch Erfindung des Fernrohres wurde.

Auf Tafel X sehen wir ein und dieselbe Gegend der Oberfläche des Mondes dargestellt, und zwar ist der obere Theil eine Nachbildung des betreffenden Stückes nach der berühmten Karte von Beer und Mädler; der untere Theil dagegen zeigt dieselbe Partie in gleichem Maßstabe nach einer Photographie des Mondes, die Warren de la Rue angefertigt und vergrößert hat. In letzterer tritt das Relief der Oberfläche in großer Schönheit durch den Gegensatz von Licht und Schatten hervor: allein es ist nicht möglich auf ihr eine Menge topographischer Einzelheiten aufzufinden, welche die genannten berühmten Astronomen mit Hilfe guter Instrumente aufzufinden und mit großer Sorgfalt einzutragen im Stande waren: gerade diese Einzelheiten aber verleihen der Karte einen außerordentlich hohen Werth, wenn es gilt durch spätere Untersuchungen die Frage zu entscheiden ob die Oberfläche des Mondes irgend welchen Umwandlungen unterworfen ist.





Theil der Mondoberfläche nach der Karte von Beer und Mädler; derselbe Theil nach einer Photographie von Warren de la Rue.

Viertes Buch.

Die Wärme.

Erstes Kapitel.

Die Heizung.

§ 1. Alte Heizvorrichtungen.

Wo wir Gelegenheit finden den Menschen auf der niedrigsten Stufe seiner Existenz zu beobachten, sei es daß wir den Spuren nachforschen, die uns von seiner Thätigkeit vor Tausenden von Jahren in den Höhlungen der Erde aufbewahrt worden sind, sei es daß wir Völkerschaften, die fern von der Berührung mit der Cultur ihr Leben verbringen, in ihren Sitten und Gebräuchen aus den Schilderungen der Reisenden kennen lernen: so sehen wir, daß in jedem Falle ein wesentlicher Wendepunkt im Völkerleben eintritt, sobald der Mensch die Kunst erlernt die Macht des Feuers seinen Diensten zu unterwerfen. Vorher konnte er sich vor den Unbilden der Witterung nur dadurch schützen, daß er sich in Höhlen verkroch, welche die Natur ihm darbot oder welche er selbst mühsam in den Boden mit seinen Nägeln oder mit scharfen Steinen eingrub, und daß er sich mit den unzubereiteten Fellen der Thiere bekleidete, die er mit den rohesten Waffen, mit Baumästen oder Feldsteinen erlegt hatte. Auch die Nahrung, die er genoß, konnte er keiner Veränderung unterwerfen, mochte dieselbe in den Früchten der Bäume, in Wurzeln und Kräutern, oder auch im Fleische der gefangenen Fische und der getödteten Thiere bestehen. Erst mit dem Aufflackern der Flamme, welche die griechische Sage unmittelbar dem Sitze der Götter

entflammen läßt, öffnet sich dem Menschen die Bahn, auf welcher er immer höher hinan zu steigen befähigt wird: nun erst ist er im Stande der Härte des Winters erfolgreich zu trotzen, nun erst kann er die Speisen, die er genießt, in besserer Weise zubereiten, und nun ist es ihm möglich, daß er sich bessere Waffen zum Kampfe mit den Thieren und ganz besonders auch Werkzeuge verschaffe, mit denen er den Boden bearbeitet, und damit thut er die ersten Schritte in der Pflege der Künste des Friedens.

Es giebt nur sehr wenige Stellen auf der Erde, an denen die Unterschiede der Temperatur so gering sind, daß der Mensch niemals durch den Wechsel der Erwärmung, durch das Uebermaß von Hitze und Kälte in der Entfaltung seiner körperlichen und geistigen Kräfte gehindert wird, an denen ein ewiger Frühling herrscht, und auch diese Stellen sind nur dünn bevölkert, ja das ewige Gleichmaß der Witterung scheint nicht einmal von günstiger Wirkung auf die Entwickelung der Menschheit einzuwirken. Mit diesen wenigen Ausnahmen ist überall der Wechsel der Temperatur vom Tage zur Nacht, vom Sommer zum Winter höchst empfindlich, und selbst in der Wüste folgt häufig auf die gewaltige Hitze des Tages nach dem Untergange der Sonne eine Temperaturerniedrigung, bei welcher das Wasser zu Eis erstarrt, und welche auf Menschen und Thiere höchst schädlich einwirkt, wenn nicht Schutz vor derselben gefunden wird. Mehr aber noch als in den wärmeren Ländern, muß man in dem Winter der gemäßigten Zone darauf bedacht sein, daß man die künstlichen Wärmequellen zu seinem Nutzen ausbeutet, und endlich in den kalten Regionen, in welche man auch mit fortschreitender Cultur immer weiter einzudringen strebt, würde ein Vordringen unmöglich sein, wenn nicht das Feuer als treuer Bundesgenosse den Menschen begleitete.

Wenn wir fragen, auf welche Weise man sich das Feuer verschafft, so ist das einzige physikalische Hilfsmittel, das man von jeher angewendet hat und noch bis auf den heutigen Tag ausschließlich anwendet, die Reibung. Noch jetzt verschaffen sich wilde Völkerschaften dadurch das Feuer, daß sie dünnere Stäbe aus hartem Holz wie Bohrer in Löchern, die sich in einem Stücke weichen Holzes befinden, mit Heftigkeit in Umdrehung versetzen (Fig. 211); noch unsere Großeltern schlugen mit einem Stahl heftig gegen einen Stein und ließen die Funken auf leicht entzündliche Stoffe, auf Zunder oder Schwefelfaden fallen, und auch wir

reiben die Kuppe der Streichhölzer, die auf chemischem Wege zu diesem Zwecke hergerichtet ist, auf einer rauhen oder einer ebenfalls chemisch präparierten Fläche. Daß uns das Feueranzünden wesentlich erleichtert ist, verdanken wir der Anwendung der Erfahrungen, welche die Chemie gemacht hat: auf dieselben einzugehen würde aber dem Zwecke dieses



Fig. 211. Entzündung des Feuers durch Reibung.

Buches zuwider sein, so wie wir auch einige andere rein chemische Methoden Feuer zu entzünden, die zu verschiedenen Zeiten vorgeschlagen worden sind, aber theils bald wieder aufgegeben wurden, theils niemals zu ganz allgemeiner Anwendung gelangten, übergehen müssen; erinnern wollen wir nur an die Döbereiner'sche Wasserstoff-Zündmaschine.

Ist das Feuer entzündet, so fragt es sich weiter, wie man die brennenden Stoffe am besten unterbringt um von der Wärme, die sie ausstrahlen, den größten Nutzen zu ziehen: das einfachste Mittel ist

unbedingt, daß man sie auf die Erde legt und sich an ihren Strahlen wärmt oder über ihren Flammen die Speisen bereitet; ein Verfahren, das auch jetzt auf Reisen und im Freien vielfach angewendet wird, bei dem aber mit dem Heizungsmateriale im Grunde große Verschwendung getrieben wird. Eine wesentliche Verbesserung besteht schon darin, daß man die Feuerstätte in einen geschlossenen Raum verlegt, in welchem das Feuer vor Wind und Wetter geschützt ist und von welchem aus die Wärme nicht in gleichem Grade durch Strahlung verloren gehen kann. So entstanden die Feuerherde in den Hütten der halb wilden Völkerschaften, wie wir sie jetzt noch bei vielen Völkern des Nordens und des Ostens vorfinden: um die Flammen, deren Rauch den ganzen Raum erfüllt und sich mühsam einen Ausweg durch die Lücken der Behausung suchen muß, sammeln sich die Bewohner, dort wärmen sie ihre erstarrten Gliedmaßen und dort bereiten sie ihre Speise. Für letzteren Zweck finden wir auch jetzt noch vielfach in unsern Bauernhäusern die Anlagen in ähnlicher Weise eingerichtet, auch dort werden noch häufig mit bedeutender Verschwendung an Brennmaterial die Speisen im offenen Kamine bereitet.



Fig. 212. Spanischer Brasero.

Vielfach sammelt man auch das Heizungsmaterial in tragbaren Gefäßen an, in denen es entzündet wird und die dann an die Orte gebracht werden, wo man von ihrer Wärme Nutzen ziehen will: besonders in den Ländern des südlichen Europas, in denen man noch nicht nöthig

hat sich durch kräftiger wirkende Mittel gegen die Angriffe der Kälte zu schützen, begnügt man sich häufig mit solchen offenen Kohlenbecken, die in Italien Braciero, in Spanien Brasero genannt werden (Fig. 212), um über ihnen die erstarrten Gliedmaßen zu wärmen. Aber auch in England und in den niederdeutschen Ländern trifft man noch jetzt auf diese einfachen Formen: so findet in Emden jeder Gast vor seinem Stuhle

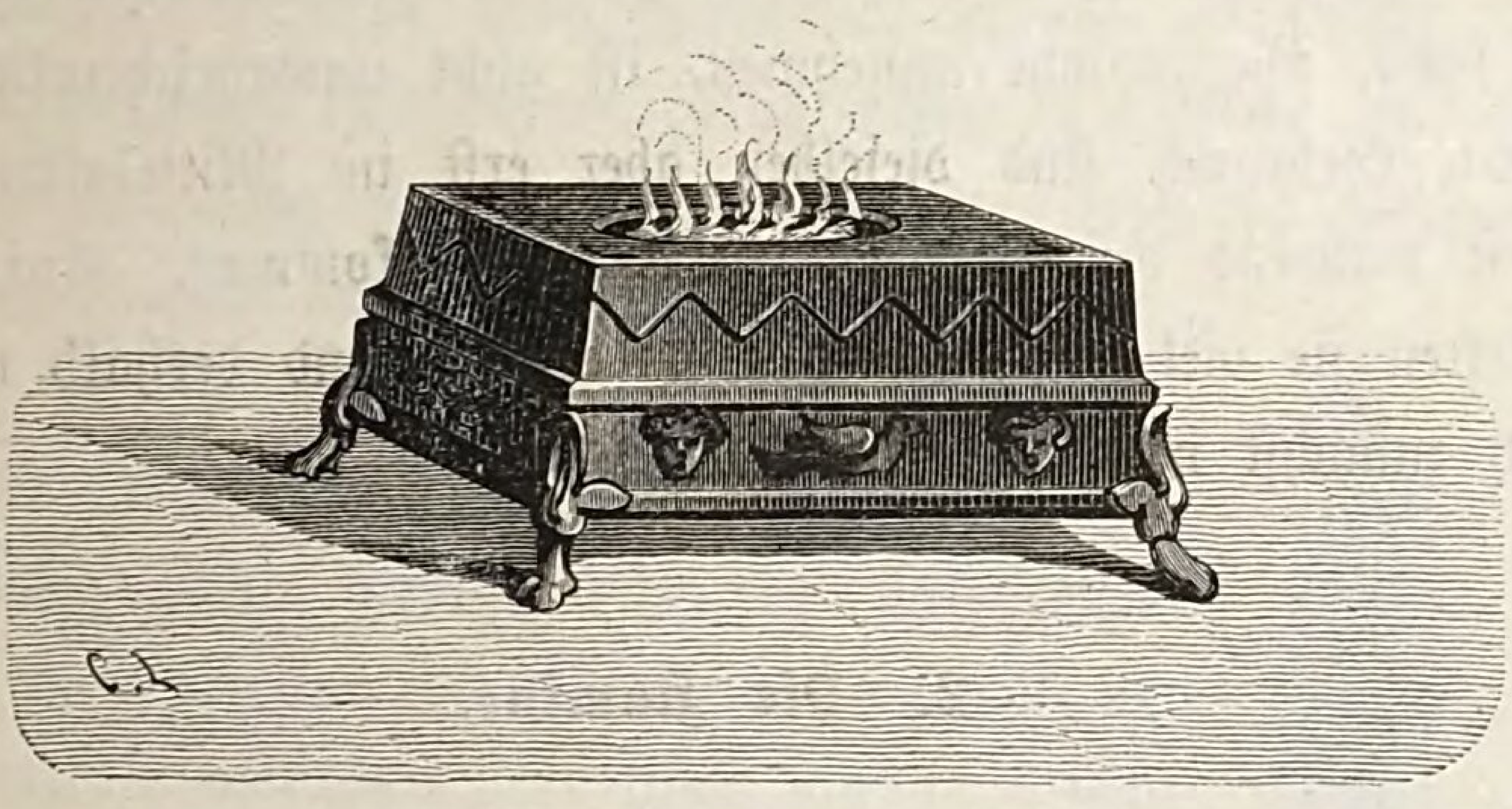


Fig. 213. Foculus der Römer.

eine Fußbank, in der eine Kohlenpfanne verborgen ist, und in Norddeutschland wird das Wasser für die Bereitung des Kaffes und Thees in den Stuben auf Pfannen heiß erhalten, die mit ausgebrannten, aber



Fig. 214. Dreifüße der Griechen.

noch glühenden Kohlen von Holz, Torf, oder Braunkohlen gefüllt sind und von Gestellen getragen werden, deren Form man versucht ist für eine Reminiscenz aus dem Alterthum zu halten. Die Culturvölker der alten Welt, Griechen und Römer, lebten unter einem so glücklichen Himmel, daß sie sich, abgesehen von dem Feuer des Herdes, das freilich niemals vollständig verlöschen sollte, mit kleinen tragbaren Herden, den Foculi der Römer (Fig. 213), oder mit Dreifüßen, welche die Kohlen-

pfannen trugen (Fig. 214), begnügen konnten, wenn sie die Temperatur ihrer Wohnräume etwas erhöhen wollten, ein Verfahren, das nicht nur schlecht geeignet ist, wenn es gilt den Kampf mit einem etwas kalten Winter aufzunehmen, sondern das auch durch die von dem brennenden Stoffe aufsteigenden Gase Gefahr bringen kann, wenn letztere nicht immer wieder durch lebhaften Luftzug entfernt werden. Daß von den Römern, wenigstens in der späteren Zeit, bereits Kamine angewendet worden seien, wie manche annehmen, ist nicht unwahrscheinlich: in allgemeineren Gebrauch sind dieselben aber erst im Mittelalter, vielleicht sogar erst während der Kreuzzüge in Europa gekommen. Auf alle Fälle aber dürften sie viel älter sein als die Oefen, und deshalb wollen wir uns auch zunächst mit ihnen beschäftigen.

2. Die Kamine.

Während des Mittelalters bestanden die Heizungsanlagen in ganz Europa nur in Kaminen; in den neueren Zeiten dagegen beschränkt sich deren Gebrauch hauptsächlich auf diejenigen Länder, deren Klima gestattet, daß man von Heizvorrichtungen, welche der eindringenden Kälte einen kräftigeren Widerstand entgegensetzen, absieht, und so finden wir sie besonders nur noch in den Ländern des südlichen Europa, in Frankreich und in England, das trotz seiner mehr nördlichen Lage sich durch das Gleichmaß der Temperatur auszeichnet, während sie in Deutschland und den Ländern des Norden vollständig von den Oefen verdrängt sind und sich nur noch in Schlössern und Palästen mehr als Schmuck der Zimmer vorfinden.

Der Herd des Kamines, auf welchem die Verbrennung erfolgt, befindet sich gewöhnlich in einem hohlen Raume, der aus der Hauptmauer oder einer Zwischenwand des Gebäudes ausgespart ist: über ihm befindet sich ein cylindrischer oder prismatischer Schlot, der sich bis über das Dach des Hauses erhebt und durch den der Rauch und die Gase, die sich bei der Verbrennung entwickeln, in die Luft entweichen. Die Verbrennung erfolgt gewöhnlich bei den Kaminen auf Kosten der Luft des Zimmers, welche dabei ihren Sauerstoff verliert und mithin beständig erneuert werden muß: diese Erneuerung aber erfolgt vermittelst des allbekannten Vorganges, den man als Luftzug bezeichnet und der dadurch

in Gang gebracht wird, daß die erwärmte Luft und die heißen Gase im Schlot aufsteigen und durch denselben entweichen. Bevor das Feuer entzündet wird, befindet sich die äußere und die im Schlot enthaltene Luft im Gleichgewichte mit der Luft des Zimmers: sobald aber das Feuer brennt, so erwärmt es die Luftschichten, die zunächst über ihm liegen; diese werden weniger dicht und beginnen aufzusteigen. Die Leere, welche durch diese entsteht, wird gewöhnlich dadurch ausgefüllt, daß sich die darüber liegenden Luftschichten herabsenken: es entsteht also eine entgegengesetzte Strömung nach Unten, welche nicht selten so kräftig auftritt, daß sie den Rauch in das Zimmer hinein treibt. Erst wenn sich die Säule von erwärmter Luft bis an das obere Ende des Kaminschlotes erhoben hat und die ganze Röhre erfüllt, wird der aufsteigende Luftstrom die Oberhand gewinnen und der Luftzug wird nun erst in vollkommenem Maße wirken, jedoch immer unter der einen Bedingung, daß die Luft des Zimmers in dem Maße, als sie ihren Sauerstoff an das Feuer abgiebt und selbst durch den Luftstrom mit fortgerissen wird, beständig durch neue Luft ersetzt wird (Fig. 215). Wenn aus irgend welcher Ursache die Luft nicht genügend ersetzt wird, so wird auch die Thätigkeit des Luftzuges und mit ihr die Lebhaftigkeit der Verbrennung allmählich immer schwächer werden, was weiter zur Folge hat, daß der Rauch in das Zimmer hereingetrieben wird, und daß andererseits sich die Luft des Zimmers verschlechtert, indem ihr der Sauerstoff entzogen wird und sie dagegen Gase in sich aufnimmt, die entweder nicht geathmet werden können, oder geradezu giftig sind, wie Kohlensäure und Kohlenoxydgas. Der Luftzug ist also ebenso nothwendig für die Erhaltung der guten Luft, wie für das lebhafte Brennen im Kamine.

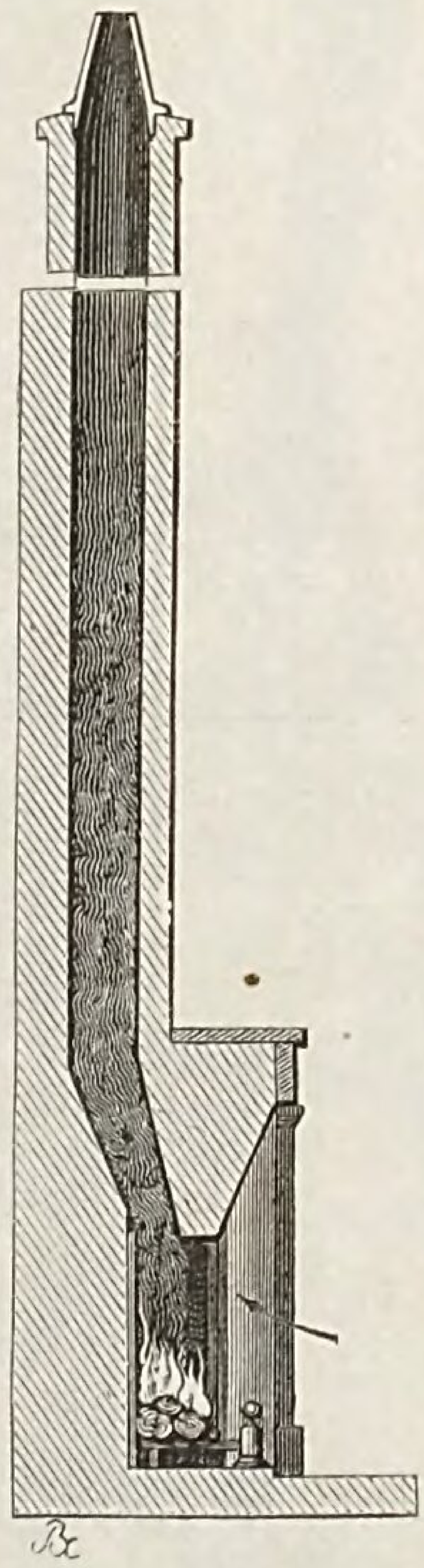


Fig. 215. Luftzug in einem gewöhnlichen Kamine.

Es fragt sich nun, welches die geeignetste Einrichtung ist, durch die man dem Zimmer neue Luft zuführt, zum Ersatz für diejenige, welche verbrannt oder durch den aufsteigenden Strom im Kamine fortgeführt war. In früheren Zeiten begnügte man sich mit der Luft, welche durch

die Spalten in den Fenstern und Thüren eindrang, und so kam es, daß diese Kamine fast immer rauchten, wenn alle Oeffnungen gut geschlossen waren, wie dies besonders bei neuen Häusern der Fall ist. Auf alle Fälle zeigte sich der große Uebelstand, daß die Personen, die sich um das Kamin sammelten, immer von der Zugluft belästigt wurden und durch dieselbe sich Erkältungen und rheumatische Uebel zuzogen; und

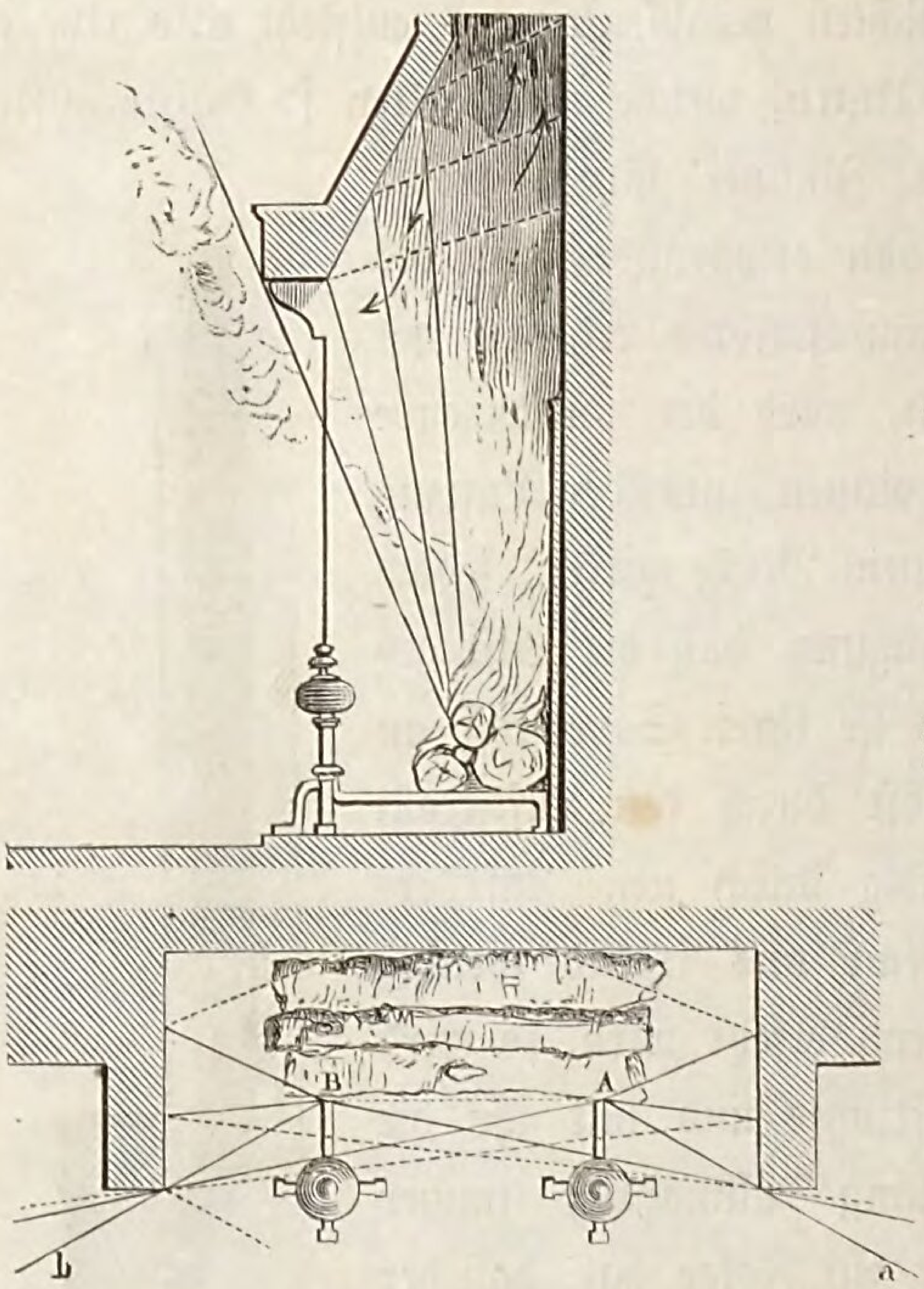


Fig. 216. Altes Kamin; Ausnutzung und Verlust der Wärme.

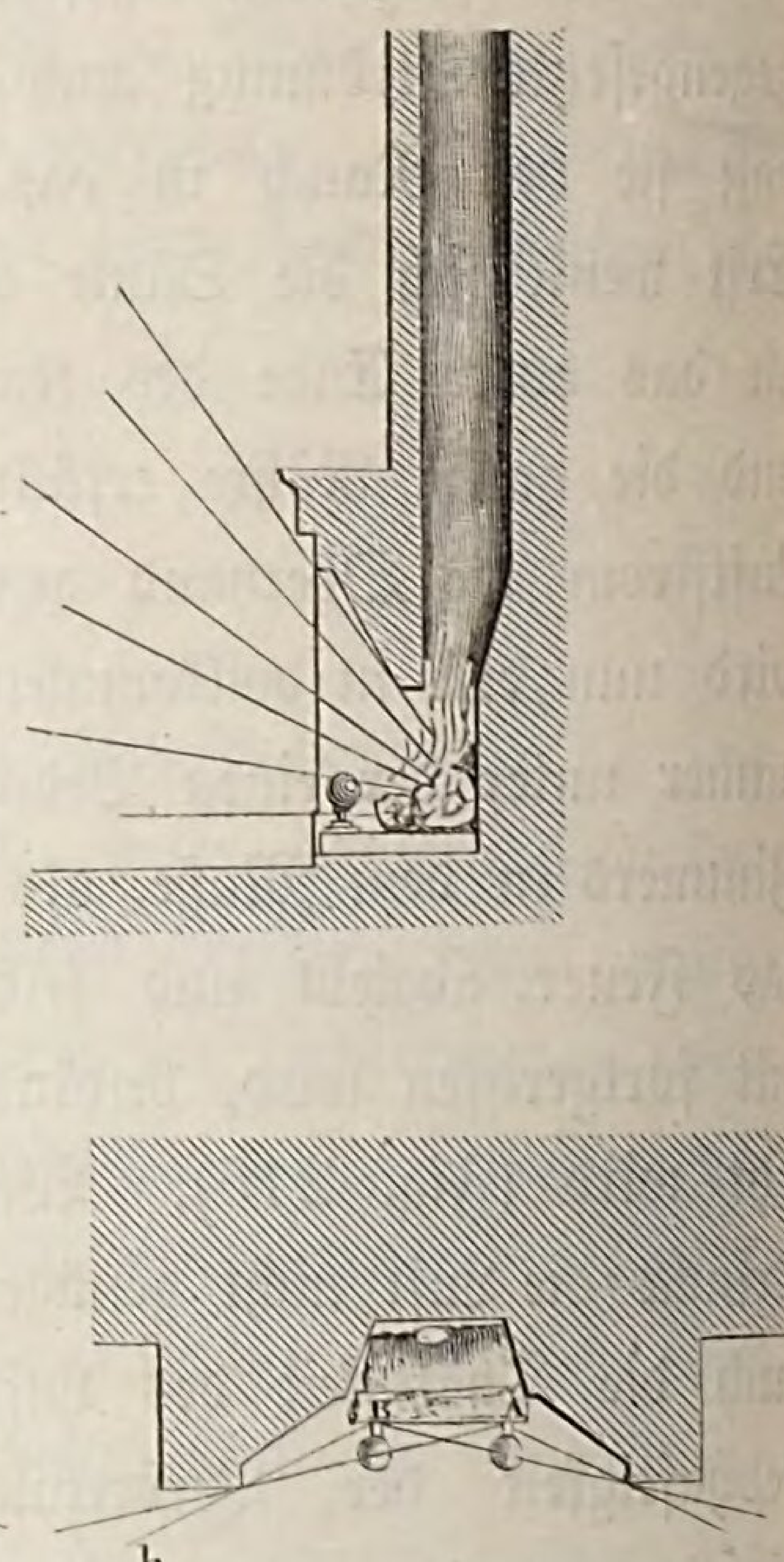


Fig. 217. Neues Kamin; Strahlung der Wärme.

auch jetzt noch hat man in den Ländern, in welchen die Kamine überhaupt noch im Gebrauche sind, bei den älteren Einrichtungen dieser Art nur die Wahl, ob man sich dem Zugwinde aussetzen, oder ob man das Lästige des Rauches erdulden will. Es ist noch gar nicht sehr lange Zeit her, daß man versucht hat, die Ergebnisse der Wissenschaft auf die Construction der Kamine anzuwenden: noch zu Anfang des vorigen Jahrhunderts hatte man nicht blos in den gewöhnlichen Häusern, sondern sogar in den Palästen der Könige viel von der Kälte zu leiden, trotzdem daß die Menge des Heizungsmateriales, welches man verbrauchte, eine enorme war. Zum Schutze gegen den Luftzug stellte man spanische



Mittelalterliches Kamin.

Wände auf. Doch auch diese Vorrichtungen genügten nicht immer den Bedürfnissen, besonders älterer Leute: so erzählt man, daß sich Ludwig XIV. in seinen späteren Lebensjahren während des Winters in seinen Zimmern beständig in einer Art von Kutschkasten so habe verpacken lassen, daß der Luftzug von keiner Seite zu ihm habe dringen können.

Doch nicht allein die Art, wie der Luftzug geregelt wurde, war früher sehr mangelhaft: auch die Ausnutzung der durch die Verbrennung entwickelten Wärme war so unvollkommen wie möglich. Fragt man, auf welche Weise das Feuer des Kamins die Luft des Zimmers und die darin befindlichen Gegenstände erwärmt, so findet man, daß dies auf zweierlei Weise geschieht: nämlich einmal durch die Wärmestrahlen, welche direct vom Feuer und von den in Glut befindlichen Kohlen kommen, das andere Mal aber dadurch, daß die erwärmte Luft aus dem Kamine sich auch in das Innere der Zimmer verbreitet. Bei den alten Kaminen (Fig. 216), bei welchen sich der Feuerherd im Grunde einer weiten viereckigen Höhlung befand, die von beiden Seiten durch vorspringende Gewände oben aber durch einen Rauchmantel oder ein Kamingesims, kurz von allen Seiten durch Vorsprünge eingeschlossen war, welche die Ausbreitung der Strahlen hinderte (Tafel XI), ließ sich nur ein geringer Theil der Wärmestrahlen wirklich ausnützen. Wesentliche Verbesserungen wurden in der Construction des Kamins erst durch Gauger und später durch Rumford angebracht, von denen der Erstere die von ihm gemachten Erfahrungen in einem Werke veröffentlichte, das im Jahre 1713 unter dem Titel: „Die Mechanik des Feuers oder die Kunst, die Wirkungen desselben zu erhöhen und die Kosten zu verringern", erschien. Um den directen Strahlungen ein weiteres Feld zu geben, rückt man den Feuerherd weiter vor (Fig. 217) und schließt den Raum seitwärts durch Gewände ab, die mit polierten Steinguttafeln, den Ofenkacheln, oder mit Kupferplatten bedeckt sind, und die schräg stehen oder sogar parabolische Form haben, sodaß sie die Strahlen so zurückwerfen, daß dieselben in das Zimmer dringen und ebenfalls zur Erwärmung beitragen. Die Oeffnung des Kamines verengert sich nach Oben hin an der Stelle, an welcher das Abzugsrohr für den Rauch beginnt, eine Einrichtung, die den doppelten Vortheil gewährt, daß sie den Luftzug lebhafter macht und daß sie den Rauch verhindert aus dem Schornstein zurückzukehren und sich im Zimmer zu verbreiten.

Noch wird diese Wirkung erhöht durch Anwendung von beweglichen Zugklappen (Fig. 219), Eisenbleche, welche man vor dem Herde nach Belieben herabziehen und wieder hinaufschieben kann und welche die Anwendung des Blasebalges überflüssig machen.

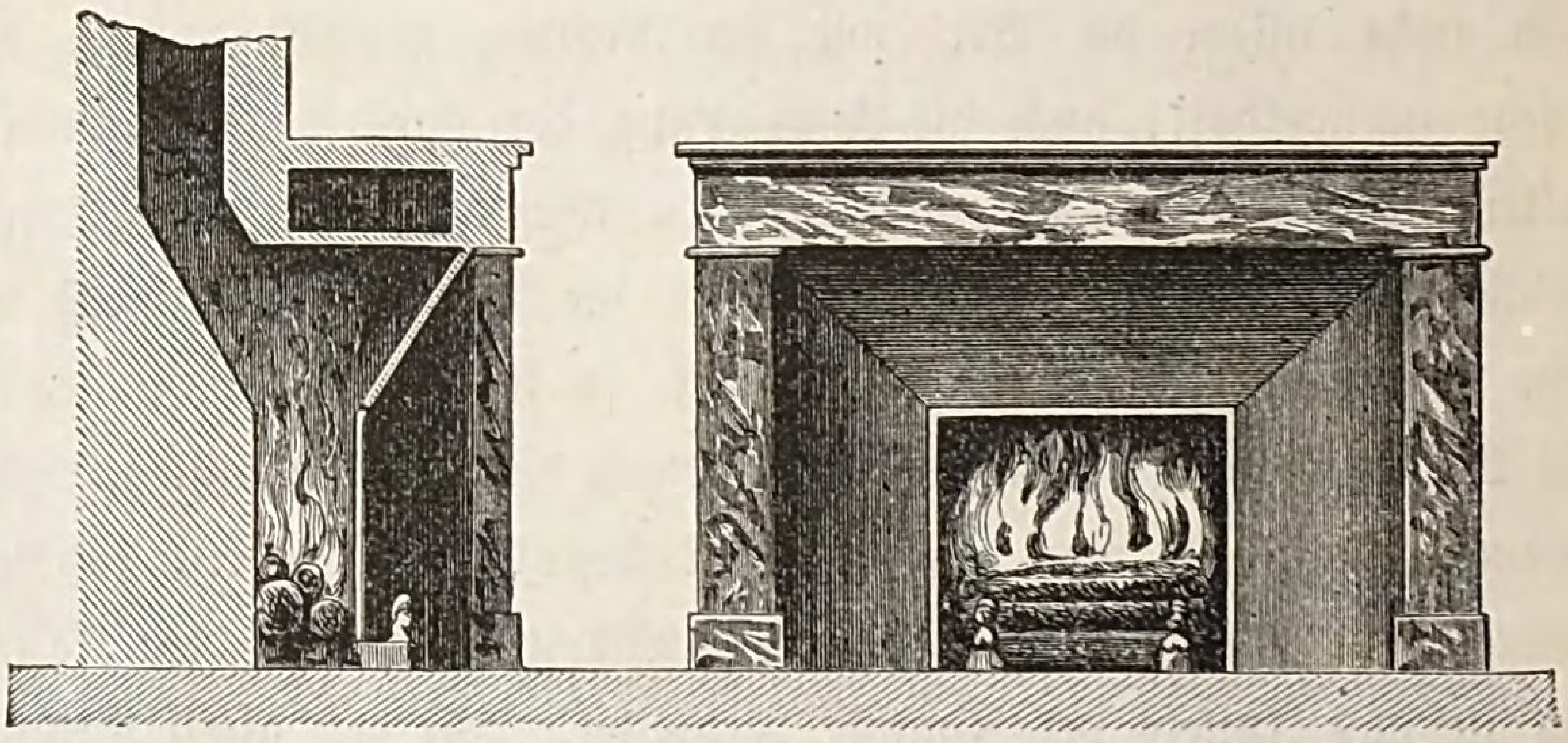


Fig. 218. Modernes Kamin gewöhnlicher Construction.

Die Erwärmung eines Zimmers geschieht aber nicht allein durch die ausgesendeten Wärmestrahlen, sondern auch dadurch, daß die im vorderen Theile des Kamines erwärmte Luft nach der Decke aufsteigt und durch

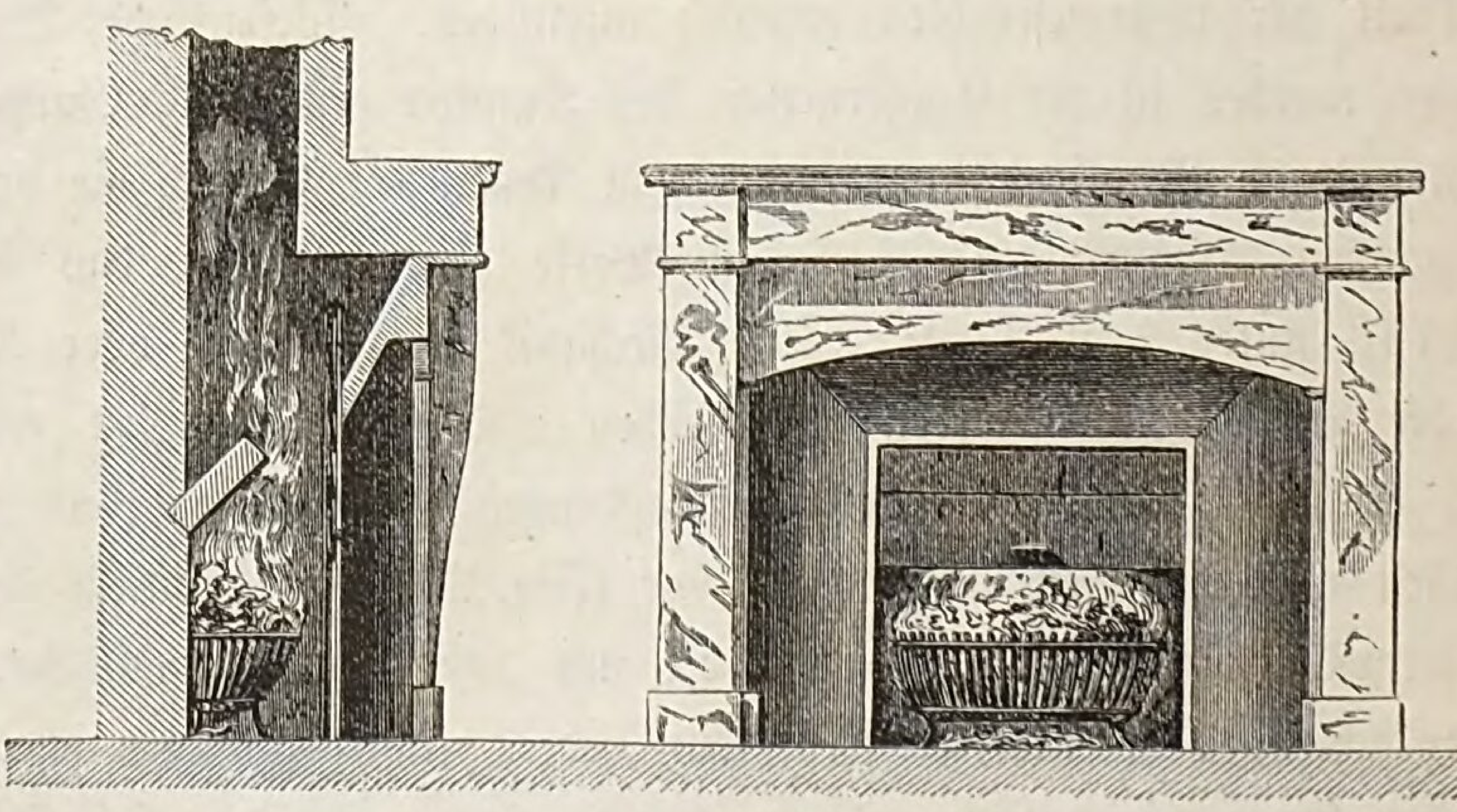


Fig. 219. Modernes Kamin mit beweglicher Zugklappe.

kalte Luft ersetzt wird, die beständig aufs Neue von Außen herbeigezogen wird. Auf diese Weise bildet sich ganz von selbst eine Ventilation, welche für die zur Erhaltung der Gesundheit nothwendige Erneuerung der Luft mehr als hinreichend ist; zugleich muß aber auch die neu eintretende kalte Luft immer erst durch das Feuer erhitzt werden, sodaß die

Wärme desselben nur in geringem Grade ausgenutzt wird, zumal da auch der aufsteigende Rauch eine große Menge heißer Gase, die sich bei der Verbrennung gebildet haben, mit sich fortnimmt. Nach den Untersuchungen des General Morin hat die Luft bei ihrem Austritt aus dem Kamine häufig eine Temperatur von 60 bis 100° oder noch mehr; der Verlust an Wärme steigt auf $^6/_7$ oder $^7/_8$, sodaß die Leistung eines gewöhnlichen Kamines kaum 12 bis 14 Procent der durch die Verbrennung entwickelten Wärme beträgt.

Um diese Verluste auf ein geringeres Maß zurückzuführen, hat man die Einrichtung der Kamine in der Weise abgeändert, daß man die zum Ersatz des verbrauchten Quantums nöthige Luft nicht durch die Spalten der Thüren und Fenster oder durch Luftlöcher und Seitenkanäle frei einströmen läßt, sondern daß man dieselbe erst so leitet, daß sie am Kamine selbst sich erwärmt. Man leitet also zunächst die von Außen eindringende kalte Luft in Kanäle, welche sich um den Herd selbst herumziehen, und erst wenn sie sich daselbst erwärmt hat, läßt man sie durch Luftlöcher in das Zimmer eintreten.

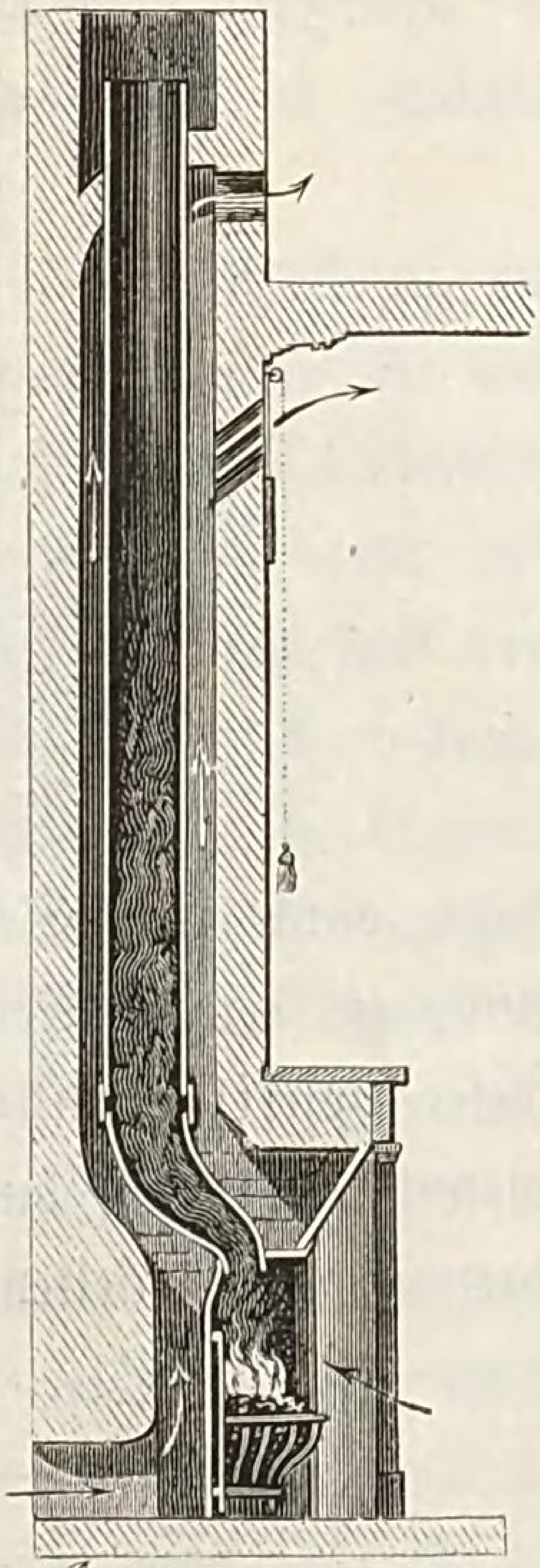


Fig. 220. Ventilierendes Kamin nach Douglas Galton.

Die Einrichtungen, die man zu diesem Zwecke vorgeschlagen hat, sind sehr verschiedener Art, und wir wollen uns darauf beschränken, daß wir zwei der einfachsten besprechen. Bei dem von Douglas Galton construierten (Fig. 220) steigt der Rauch zunächst in einer Röhre aus starkem Eisenbleche auf, die sich in einem weiten Schornsteine befindet, in welchen die Luft durch ein Seitenrohr von Außen eindringt und sich darin erhebt, bis sie zu Oeffnungen gelangt, die in der Wand des Zimmers nahe an der Decke angebracht sind. Auf diesem Wege steigt ihre Temperatur durch die Berührung mit dem eisernen Schornsteine, sodaß diese Luft zugleich durch ihre Reinheit die Luft des Zimmers verbessert und durch die Wärme, die sie auf ihrem Wege erlangt hat, die Temperatur erhöht.

Bei dem von Joly erfundenen Kamine (Fig. 221) befindet sich

der Herd in einem Behälter aus Gußeisen, von welchem der Rauch und die durch die Verbrennung erzeugten heißen Gase in einem mehrfach getheilten Luftkanale aufsteigen. Dieser ganze Apparat erhitzt den Raum, in welchem er aufgestellt ist und in welchen die äußere Luft von Unten her eindringt; nachdem sich dieselbe erhitzt hat, fließt sie

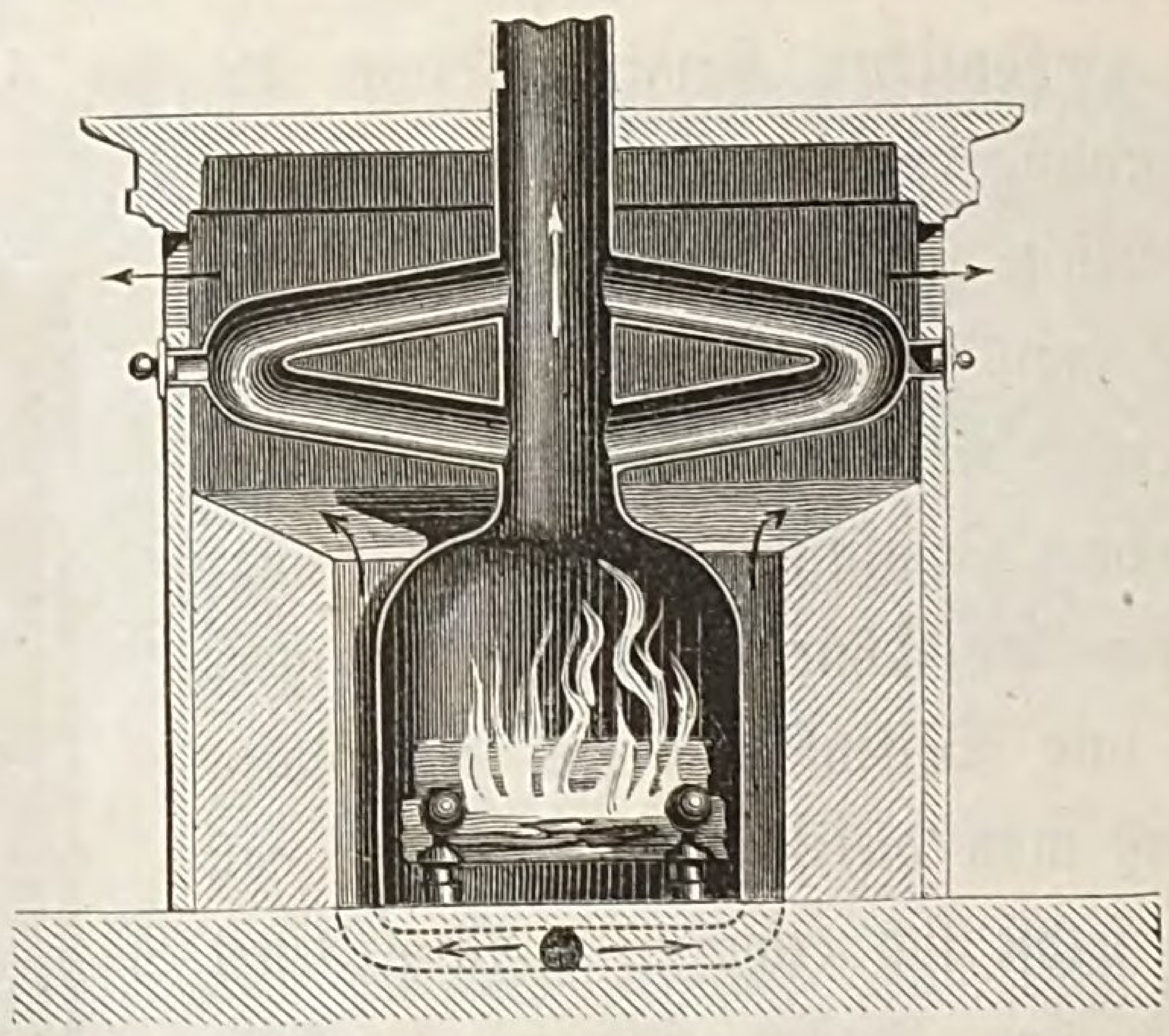


Fig. 221. Ventilierender Kamin nach Joly.

dann durch zwei Seitenöffnungen, welche ziemlich hoch oben angebracht sind, zu beiden Seiten nach dem Zimmer hin ab. Die Leistungen dieser ventilierenden Kamine sind wesentlich höher als die der gewöhnlichen, sodaß durch dieselben bis zu 30 Procent der durch die Verbrennung entwickelten Wärme nutzbar gemacht werden können.

§ 3. Die Oefen.

Wenn die Bewohner des Nordens einen Winter in Italien verleben, so empfinden sie die Kälte bei etwa eintretender ungünstiger Witterung in viel höherem Grade, als in ihrer Heimat: denn die gleichmäßige Wärme, welche der heimische Ofen im Zimmer verbreitet, läßt sich durch das Kaminfeuer niemals erzielen. Im Grunde genommen ist auch der Ofen nur eine Umformung des Kamines: es sind bei ihm nur Verbesserungen, die man schon an jenem Heizapparate angebracht hatte, consequent weiter geführt worden; der Herd ist in das Zimmer hereingeschoben und rings von den Wänden des Ofen umgeben, sodaß die Hitze auf allen Seiten an die Luft des Zimmers abgegeben und

dadurch viel besser ausgenutzt wird. Das Princip des Luftzuges ist dasselbe, und zwar ist dabei die Bewegung eine ziemlich lebhafte, weil die Oeffnung, durch welche die Luft eindringt, ziemlich eng ist; aus demselben Grunde aber ist die Menge der Luft, welche aus dem Zimmer fortströmt und durch neu eindringende ersetzt werden muß, eine viel geringere, und dadurch kann die Ventilation des Zimmers leicht ungenügend werden. Von einer directen Strahlung durch das Feuer kann auch nicht die Rede sein, ein Umstand, welcher eher als ein günstiger zu bezeichnen ist, da die strahlende Wärme keineswegs angenehm ist und andererseits zur dauernden Erhöhung der Temperatur im Zimmer wenig beiträgt.

Die Oefen weichen sowohl in ihrer Form, als auch in Bezug auf das Material, aus dem sie angefertigt sind, sehr von einander ab: was letzteres anlangt, so erfreuen sich noch vielfach im mittleren Deutschland besonders bei der ärmeren Bevölkerung die aus Eisenblech oder aus Gußeisen verfertigten einer großen Beliebtheit, weil die Ansicht weit verbreitet ist, daß sich die Heizungskosten bei denselben wesentlich niedriger stellen, als bei anderen Oefen. Und es ist ja auch nicht zu leugnen, daß infolge des großen Leitungsvermögens, welches alle Metalle besitzen, die Hitze sehr bald die Ofenwand durchdringt und sich schnell durch das Zimmer verbreitet; andererseits darf man aber auch nicht vergessen, daß ebenso schnell auch die Abkühlung eintritt, wenn der letzte Funken im Ofen erloschen ist, daß man daher das Feuer in ihnen so lange unterhalten muß, als man die Wärme in der Stube genießen will; wenn also diese Oefen vielleicht einen finanziellen Vortheil gewähren, sobald es darauf ankommt, einen Raum schnell und nur für kurze Zeit zu erwärmen, so wird diese Ersparniß vollständig illusorisch, wenn die Wärme längere Zeit gleichmäßig anhalten soll. Wenn in dieser Beziehung vielleicht unter Umständen ein Vortheil vorhanden sein kann, so zeigen sich andererseits bei den eisernen Oefen Erscheinungen, die nicht nur lästig, sondern sogar gefährlich werden können. Lästig ist es zunächst, daß durch sie die Luft so stark ausgetrocknet wird, daß man beständig Wasser verdampfen möchte, um den nöthigen Feuchtigkeitsgrad zu erhalten, und daß die Temperatur der Luft in verschiedenem Abstande vom Ofen sehr große Verschiedenheit zeigt; in letzterer Beziehung haben Versuche, welche im Jahre 1868 unter Morin's Leitung angestellt wurden, das

Resultat ergeben, daß die Luft in einem halben Meter Abstand vom Ofen zwischen 50 und 60° zeigte, während sie in einem Abstande von 2 Metern nur eine Temperatur von 36 bis 39° besaß. Der eigentliche Zweck dieser Untersuchungen aber war, eine Erscheinung gründlicher zu studieren, welche schon früher durch Graham, St. Claire-Deville und Troost beobachtet worden war: nämlich das Auftreten des Kohlenoxydgases in der Luft, welche den eisernen Ofen umgiebt, eines Gases, das schon in geringen Mengen ziemlich giftig wirkt. Auf diese Erscheinung war man dadurch aufmerksam geworden, daß Dr. Carret in den Jahren 1850—1860 eine eigenthümliche Epidemie unter den Schulkindern in einigen Theilen Frankreichs beobachtete und dabei die auffällige Entdeckung machte, daß von der Krankheit nur solche Kinder befallen wurden, die in Schulstuben unterrichtet wurden, in denen sich eiserne Oefen befanden; wenn nun damals auch nicht mit Sicherheit festgestellt wurde, daß die Art der Heizung wirklich die Ursache der Krankheit war, so gab doch jene Erscheinung Veranlassung, die Luft in der Nähe der eisernen Oefen zu untersuchen, was zu dem erwähnten Resultate führte. Höchst wahrscheinlich entstammt das giftige Gas den im Ofen brennenden Stoffen und man vermuthet, daß das Eisen durch die Glühhitze für dasselbe durchlässig wird, ja daß es vielleicht selbst zur Bildung dieses Gases mit beiträgt. Eine andere Ansicht, die aber weniger Wahrscheinlichkeit besitzt, geht dahin, daß die feinen organischen Stäubchen, welche beständig in der Luft schweben, bei ihrer Berührung mit den heißen Wänden des Ofens in unvollkommenem Grade verbrennen und dabei diesen giftigen Stoff liefern. Mag die Ursache sein, welche sie wolle, auf alle Fälle steht fest, daß diese Erscheinung, an deren Richtigkeit man nicht mehr zweifeln kann, zu großer Vorsicht bei dem Gebrauche der eisernen Oefen ermahnt.

Alle diese Unzuträglichkeiten zeigen sich nicht bei den Oefen, welche aus Kacheln oder aus feuerfestem Thone aufgeführt und äußerlich mit Fliesen aus Steingut oder Porcellan bekleidet sind, ja selbst die eisernen Oefen, welche in ihrem Innern mit Steinen ausgesetzt sind: zwar dringt die Wärme viel langsamer durch ihre Wände nach Außen, weil dieselben aus Stoffen von viel geringerem Leitungsvermögen gebildet sind; aus eben demselben Grunde aber behalten sie auch die höhere Temperatur viel längere Zeit bei und zeigen keine Erscheinungen, welche der Gesundheit gefährlich werden könnten. Vergleichen wir diese Oefen mit dem

Kamine, so ergiebt sich für diese der große Vortheil, daß bei ihnen ungefähr 85—90 Procent der Wärme, die sich aus dem Heizungsmaterial entwickelt, nutzbar gemacht wird: dagegen stehen sie sehr weit in Bezug auf die Ventilation hinter jenen zurück; denn in einem Zimmer, das durch Oefen geheizt ist, erneuert sich die Luft, wie Morin beobachtet hat, höchstens einmal binnen 10 Stunden, und es sollten um diesem

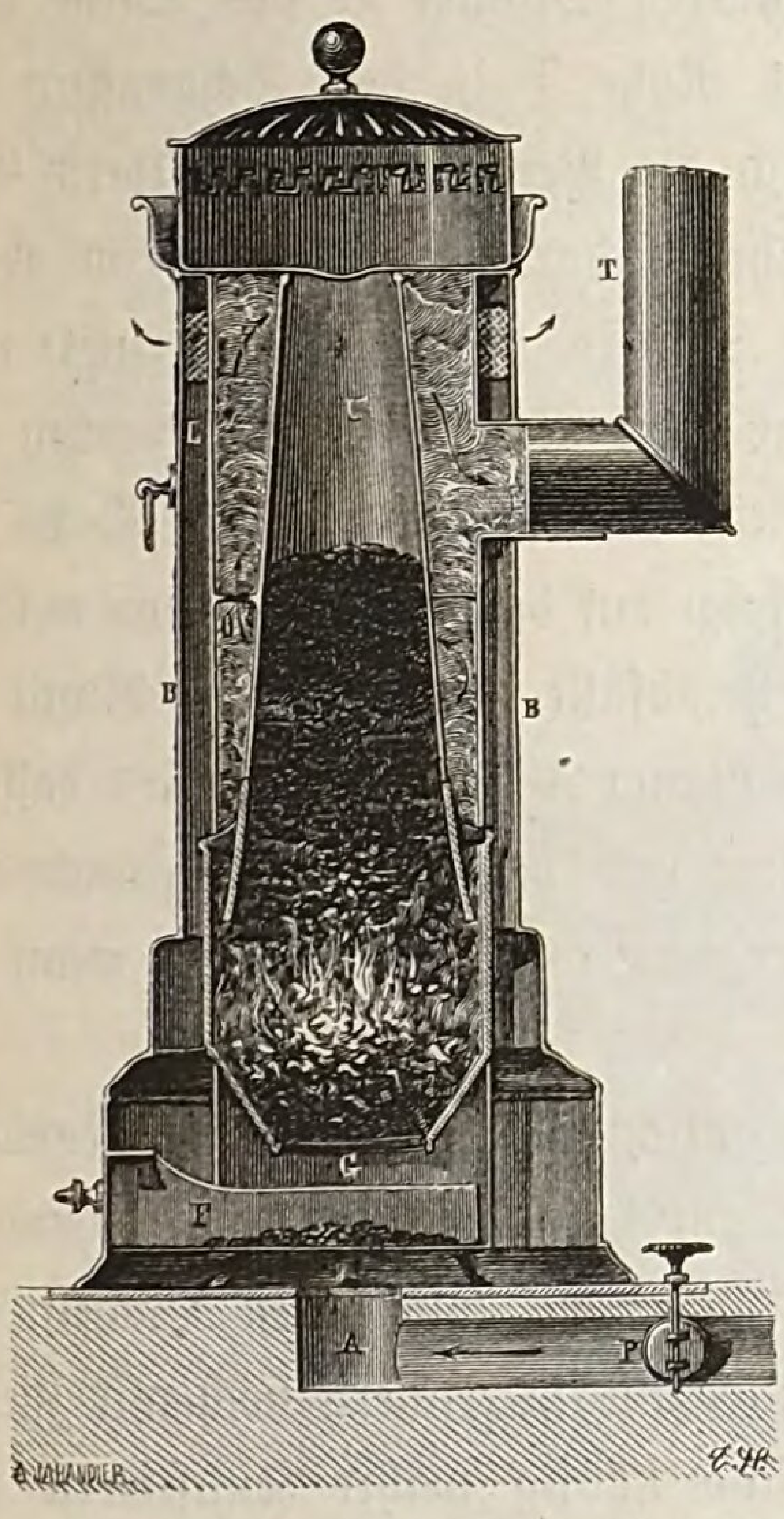


Fig. 222. Füllofen mit Ventilationsvorrichtung.

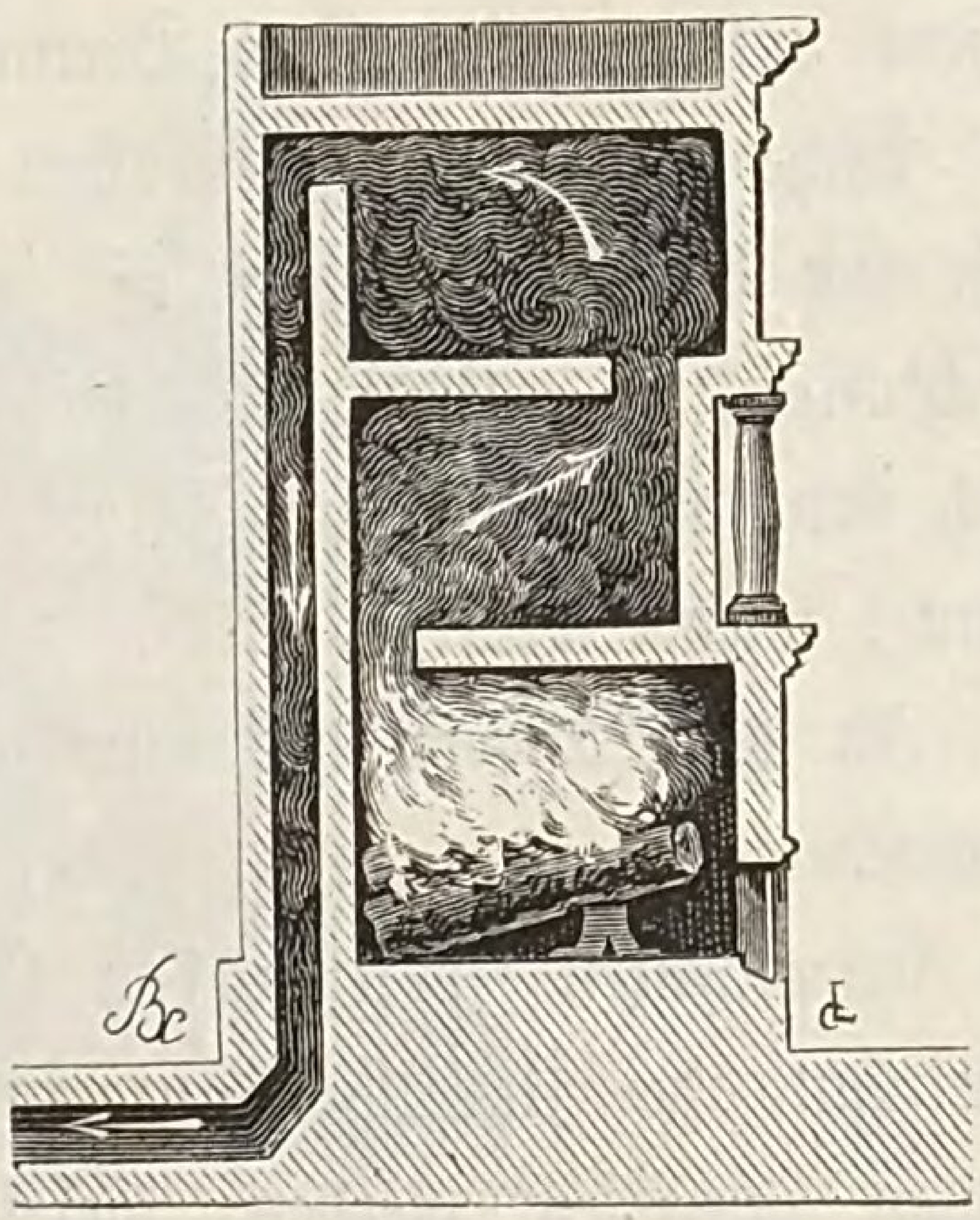


Fig. 223. Querschnitt eines Grundofens.

Uebelstande abzuhelfen besondere Ventilationsanlagen angebracht werden, ausgenommen, wenn die Bauart so leicht ist, daß die frische Luft durch die Spalten der Fenster und Thüren genügenden Zutritt findet, wie dies leider vielfach in unseren Häusern der Fall ist.

Sowohl um das Heizungsmaterial genügend auszunützen, wie auch um das Heizen selbst möglichst bequem zu machen, hat man die Form der Oefen vielfach abgeändert: so werden jetzt sehr häufig die sogenannten Schütt- oder Füllöfen gebraucht, bei welchen das Material in größeren Mengen von Oben eingeschüttet wird, während der Luftzutritt durch Schrauben reguliert werden kann, sodaß man es in der Gewalt hat das

lebhafte Brennen jeder Zeit beliebig zu unterbrechen. Fig. 222 zeigt einen solchen Füllofen, bei dem zugleich eine Vorrichtung angebracht ist, durch welche das Zimmer stets mit frischer Luft versorgt wird. Die Luft tritt nämlich durch eine Röhre in den Raum A, welcher unterhalb der Feuerung G liegt, und nährt einestheils das Feuer, während ein anderer Theil in den Raum L tritt, welcher zwischen dem Cylinder, in dem das Verbrennen erfolgt, und dem äußeren Mantel B des Ofens liegt. Aus dem inneren Cylinder führt das Rohr T in den Schornstein und gestattet, daß der Rauch und die durch die Verbrennung gebildeten Gase nach dieser Seite hin entweichen, während durch Oeffnungen im oberen Theile des Mantels B die erwärmte Luft in das Zimmer dringt; nicht mischen darf sie sich mit der Luft aus dem Raume C', in welchen das Heizungsmaterial von Oben eingeschüttet wird, nachdem der Deckel des Ofens entfernt ist. Das Brennen erfolgt auf dem Roste G, von welchem die Asche in den Aschenkasten F herabfällt. Durch ein Ventil P läßt sich der Zutritt der Luft in den Raum A regulieren: wird dasselbe geschlossen, so erlischt auch die Flamme und das Material glimmt nur noch langsam weiter um sofort wieder in Brand zu gerathen, wenn das Ventil wieder geöffnet wird.

In den Ländern des nördlichen Deutschlands, wie auch in Rußland, Schweden und Norwegen, findet man am häufigsten in den Wohnungen die sogenannten Grundöfen (Fig. 223), die aus dicken Kacheln aus Steingut oder Porcellan aufgeführt sind und im Innern noch mit Ziegelsteinen ausgesetzt werden: dieselben sind häufig wahre Kunstwerke und bilden einen großen Schmuck der Zimmer. Im Innern sind diese Oefen durch horizontale Scheidewände in einzelne Abtheilungen oder Züge getheilt, durch welche der Rauch und die Verbrennungsgase strömen um schließlich nach dem Schornsteine hin zu entweichen; die Luft aber dringt gewöhnlich in den Feuerungsraum einfach durch die Thüre ein, welche durch eine Eisenplatte hermetisch verschlossen wird, sobald das Heizungsmaterial in volle Gluth gerathen ist. Wenn die Kälte nicht zu übermäßig ist, so genügt es gewöhnlich, daß man das Feuer während einiger Morgenstunden brennend erhält und dann die Thür zur rechten Zeit schließt: die geringe Leitungsfähigkeit der Kacheln und der Steine hält dann die Wärme während des ganzen Tages zurück und erhält die Temperatur im Zimmer auf gleichmäßiger Höhe.

§. 4. Die Centralheizung.

Bei dem Kamine mit Ventilationsvorrichtung, dessen Abbildung wir in Fig. 220 mittheilten, bemerken wir noch weiter oben über der Decke des Zimmers ein Luftloch, durch welches also die warme Luft in die Räume des darüber liegenden Stockwerkes eindringt. Die weitere Fortführung der Idee, welche dieser Einrichtung zu Grunde liegt, hat auf die Erfindung von Heizeinrichtungen geführt, bei denen der Feuerherd, der die Wärme liefert, sich in größerer Entfernung von den Räumen befindet, welche erwärmt werden sollen. Ein und derselbe Feuerherd genügt hierbei, um eine große Anzahl von Räumen gleichzeitig zu erwärmen, von ihm als von einem Mittelpunkte wandert die Wärme

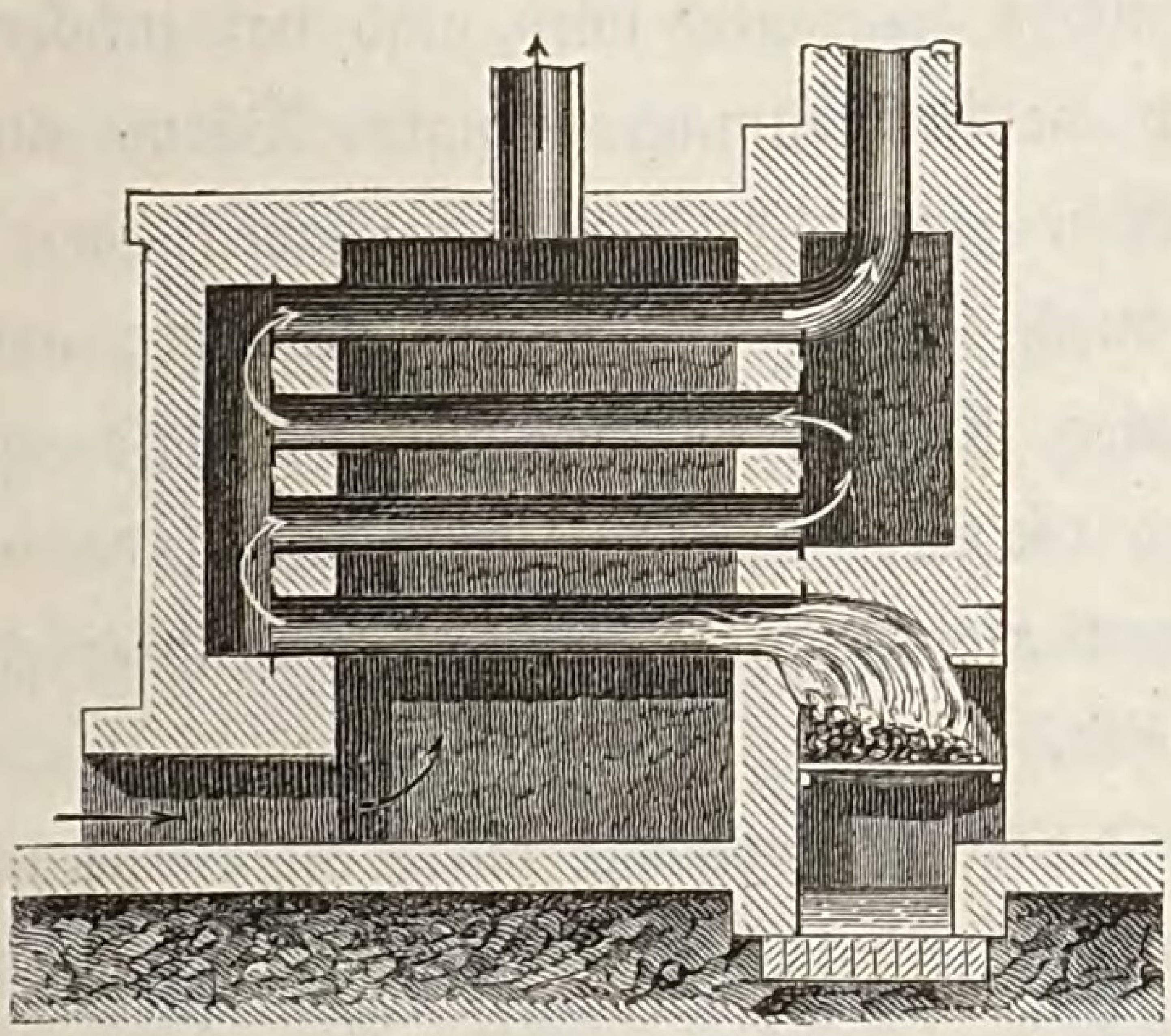


Fig. 224. Ofen für die Luftheizung.

durch verschiedene Röhrensysteme nach verschiedenen Seiten hin, weshalb man diese Heizeinrichtungen als Centralheizung bezeichnet hat: eine Einrichtung, welche besonders bei öffentlichen Gebäuden, Kirchen, Schulen, Gerichtshäusern und ähnlichen Gebäuden mit Vortheil angewendet wird, welche aber auch in Privathäusern, besonders wenn dieselben nur von einer Familie bewohnt werden, Eingang gefunden hat.

Je nach dem Mittel, durch welches die Wärme vom Herde aus weiter befördert wird, unterscheiden sich hauptsächlich die verschiedenen Systeme der Centralheizung: entweder ist es die erwärmte Luft selbst, welche in die Räume des Gebäudes direct eingeleitet wird, oder die Uebertragung geschieht durch heißes Wasser oder durch Wasserdämpfe,

welche in Röhren circulieren, sodaß als die wesentlichsten Arten der Centralheizung, mit denen wir uns jetzt zu beschäftigen haben, die Luftheizung, die Heißwasserheizung und die Dampfheizung zu nennen sind.

Bei der Luftheizung befindet sich der Herd gewöhnlich im Keller des Gebäudes, dessen Räume erwärmt werden sollen, in der Mitte eines Raumes, in welchen beständig von Außen Luft eindringen kann, welcher aber nicht mit dem Herde selbst in directer Verbindung steht, sodaß weder der Rauch, noch die Verbrennungsgase in ihn eindringen können. Die Röhrenleitung, welche den Rauch und diese Gase weiter führen soll, macht innerhalb dieses Raumes mehrfache Biegungen oder theilt sich in eine Anzahl von Röhren, welche theils horizontal liegen (Fig. 224), theils vertical aufsteigen: diese Anordnung gewährt den Vortheil, daß durch sie die Heizfläche vergrößert wird, und daß infolge dessen die Ausnützung der durch die Verbrennung erzeugten Wärme eine möglichst vollkommene ist. Man glaubt beobachtet zu haben, daß es günstiger ist, die Heizröhren, durch welche der Rauch entweicht, aufrecht zu stellen, weil bei horizontalen Röhren, wie sie unsere Abbildung zeigt, der Luftstrom, der in das Gebäude aufsteigt, nur einmal deren Fläche berührt, während er bei verticalen Röhren mit denselben ihrer ganzen Länge nach in Berührung bleibt.

Während sich der Rauch und die durch die Verbrennung entwickelten Gase im Schornsteine erheben, nachdem sie den größten Theil ihrer Wärme an die Luft der Heizkammer abgegeben haben, steigt auch diese Luft zunächst in einem Hauptrohre, dann aber in Nebenröhren, in welche sich dasselbe verzweigt, in die Höhe und gelangt in die Zimmer durch Oeffnungen, welche sich durch Klappen zum Theil oder vollständig verschließen lassen. Man hat gefunden, daß es vortheilhafter ist, diese Heizöffnungen nahe an der Decke des Zimmers anzubringen, damit nicht die entweichende kalte Luft in die Heizröhren abfließt, in ihnen einen Gegenstrom erzeugt und die warme Luft vor ihrem Eintritte in das Zimmer bereits abkühlt. Die Ausnützung der durch die Verbrennung entwickelten Wärme beträgt je nach der Güte der Anlage zwischen 60 und 80 Procent. Die Luft, welche aus dem Heizraume aufsteigt, besitzt häufig eine Temperatur, welche für unsere Zimmer viel zu hoch ist: theils um diesen Uebelstand zu vermindern, theils aber auch um eine

bessere Ventilation zu bewirken bringt man weitere Rohre an, durch welche man die freie Luft einströmen lassen kann, sodaß die erhitzte Luft durch dieselbe etwas abgekühlt wird und an Güte und Reinheit gewinnt.

Durch geschickte Regulierung der Klappen, welche theils die Heizröhren, theils die Ventilationsröhren schließen, ist es möglich die Temperatur dauernd auf der gewünschten Höhe zu erhalten, und dabei das nöthige Quantum reiner Luft dem Zimmer zuzuführen; auch was den Kostenpunkt anlangt, ist diese Heizung nicht ungünstig. Dafür zeigen sich aber andere große Uebelstände: es wird nämlich einmal die Luft im Zimmer außerordentlich trocken, sodaß es nöthig wäre beständig Wasser in größeren Mengen zu verdampfen, und dann läßt es sich nicht vermeiden, daß der aus den Kellerräumen aufsteigende Luftstrom nicht eine Menge feiner Staubpartikelchen mit sich führt, welche bald alle Möbel mit einer dicken Schicht bedecken und welche in unsere Lungen eindringen und uns beim Athmen und Sprechen lästig und gefährlich werden. Endlich sind wir auch bei dieser Heizung durchaus nicht sicher, daß nicht das giftige Kohlenoxydgas ebenso wie bei den eisernen Oefen die Wände der Heizungsröhre durchdringt, sobald dieselben glühend werden, und durch den aufsteigenden Luftstrom in unsere Zimmer übergeführt wird.

Alle diese Uebelstände sind bei der Heißwasserheizung vermieden: bei derselben wird die Luft gleichmäßig und gelinde erwärmt und in keiner Weise ausgetrocknet, irgend welche Gefahr durch giftige Gase kann aber niemals entstehen, weshalb diese Art der Heizung der vorher erwähnten unstreitig vorzuziehen ist.

Auch bei der Heißwasserheizung (Fig. 225) wird der Feuerherd gewöhnlich in den untersten Raum des Hauses verlegt; aber durch das Feuer, von welchem aus der Rauch und die Gase durch den Kanal A nach dem Schornstein B hin entweichen, wird das Wasser in einem Kessel C erwärmt. Durch die Erwärmung dehnt sich das Wasser aus, sein specifisches Gewicht wird geringer, und es steigt infolge dessen durch eine Röhre in einen Behälter D, welcher im obersten Stockwerke, das überhaupt geheizt werden soll, aufgestellt ist und dort eine Art Ofen bildet: denn durch Berührung mit demselben und durch Strahlung von demselben erwärmt sich die Luft des Zimmers. Aus diesem Behälter führt eine Röhre in einen ähnlichen F in dem nächst tieferen Stockwerke, und so weiter, bis schließlich ein absteigendes Rohr vom letzten Be-

hälter E aus in den unteren Theil des Kessels C wieder einmündet, sodaß das Wasser, welches von ihm ausgeströmt ist, immer wieder von Neuem ersetzt wird. Die Strömung muß natürlich sofort beginnen, sobald der Kessel durch die Feuerung erwärmt wird, sie wird allmählich lebhafter und erreicht ihren größten Werth, wenn der Unterschied der Temperatur zwischen dem Kessel und dem am höchsten gelegenen Be-

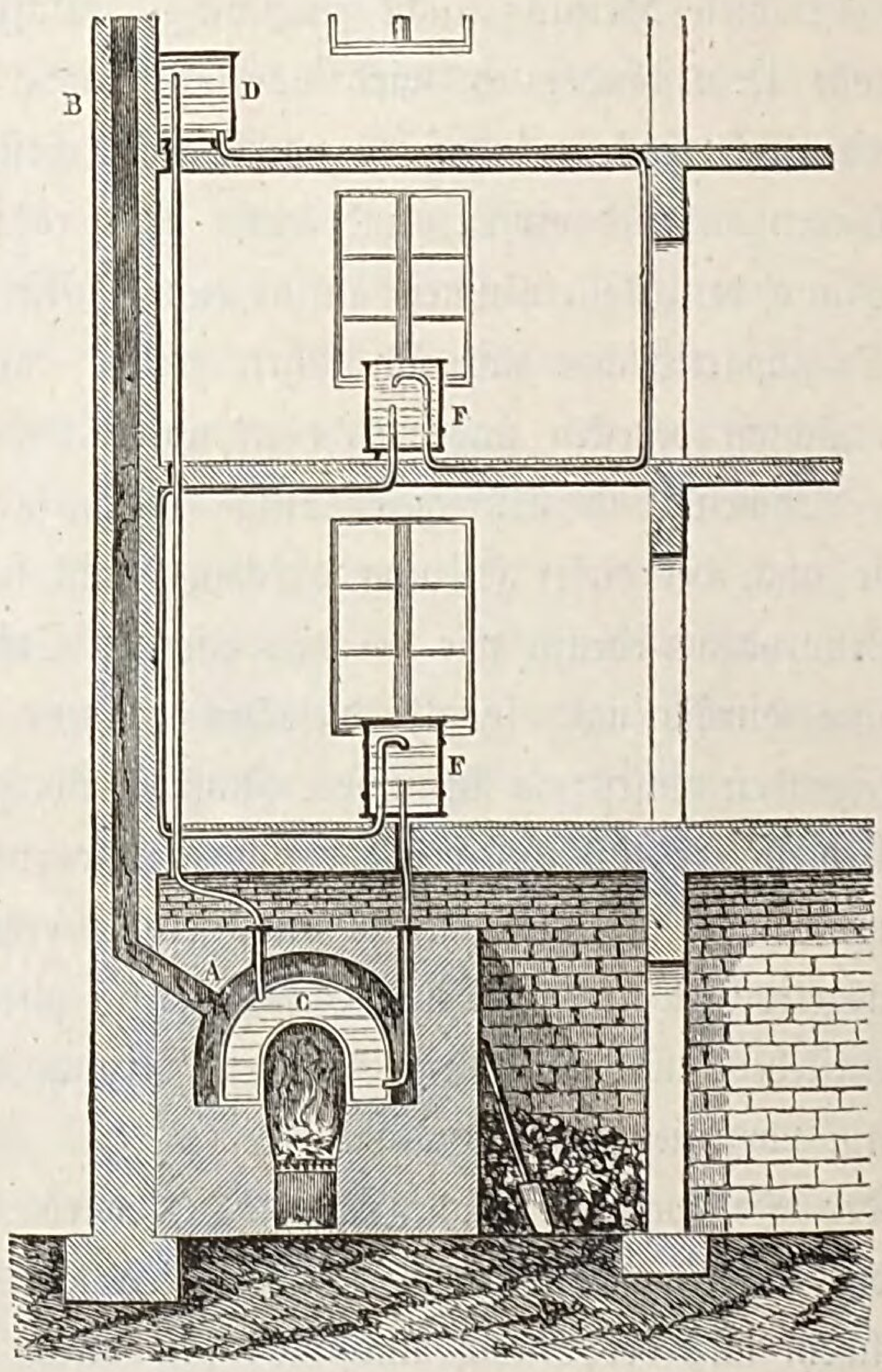


Fig. 225. Heißwasserheizung.

hälter am größten ist. Im obersten Behälter D befindet sich eine Oeffnung, durch welche man den ganzen Apparat mit Wasser füllen kann, und durch welche andererseits beim Erhitzen die Luft und ebenso auch der Dampf entweichen kann, wenn seine Spannung durch übermäßige Erwärmung allzu groß werden sollte. Zur Heizung der Räume tragen nicht allein die Behälter bei, sondern ebensogut auch die Verbindungsrohre, von denen die Wärme gleichfalls in die Räume aus-

strahlt: wo also die Rohre durch Räume gehen, die nicht mit geheizt werden sollen, müssen sie dicht mit Stoffen umhüllt werden, welche die Wärme nicht durch sich hindurchlassen, wenn man unnöthige Verluste an Wärme vermeiden will.

Diese Heizungsapparate wurden im achtzehnten Jahrhundert durch den Architecten Bonnemain erfunden, und sie haben seit jener Zeit im

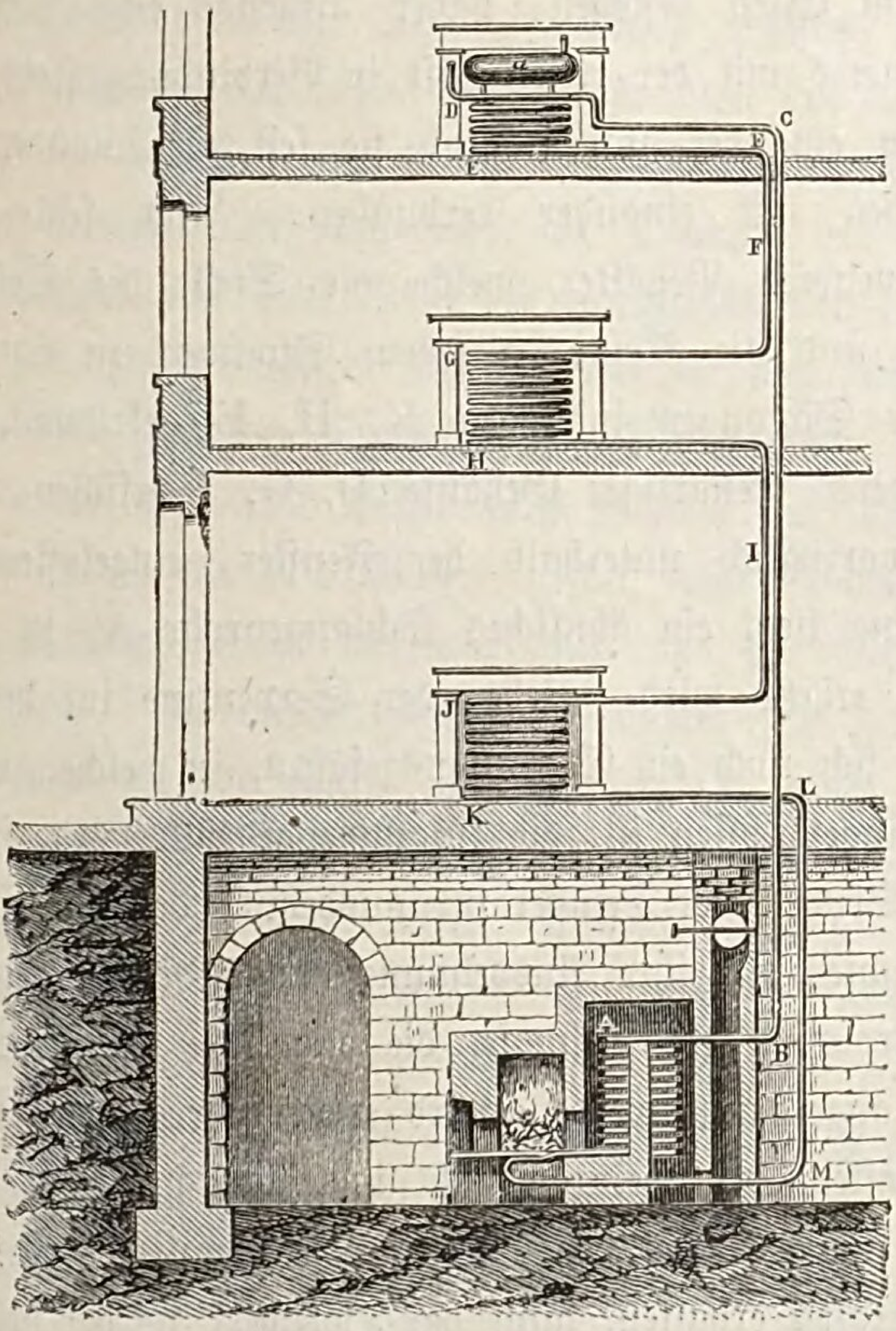


Fig. 226. Wasserheizung mit Hochdruck nach Perkins.

Ganzen nur sehr unwesentliche Veränderungen erfahren. Da bei ihnen das oberste Gefäß beständig offen ist, so kann in demselben der Druck des Dampfes nicht über eine Atmosphäre, also die Temperatur nicht über 100° steigen: im Kessel kann dagegen noch eine kleine Erhöhung der Temperatur eintreten, weil dort der Druck noch um die Luft der ganzen Wassersäule im Apparate höher ist; doch auch diese Steigerung der Temperatur und des Druckes ist nur sehr unbedeutend und deshalb

bezeichnet man diese Vorrichtung als Wasserheizungen mit niedrigem Druck.

Weit bedeutender läßt sich die Temperatur bei den Wasserheizungen mit Hochdruck (Fig. 226) erhöhen, welche von Perkins erfunden worden sind. Auch bei diesem System circuliert das Wasser in Röhren, welche von einem Stockwerke nach dem andern innerhalb der Mauern aufsteigen und sich unter dem Fußboden ausbreiten: allein diese Röhren, die aus starkem Eisen bestehen, haben nirgends eine Oeffnung, durch welche ihr Inneres mit der freien Luft in Verbindung steht, und überall da, wo sie an einander stoßen, sind sie fest an einander gefügt und durch Schrauben mit einander verbunden. Auch fehlen bei diesem Systeme die weiteren Behälter, welche die Stelle der Oefen vertreten, sondern dafür sind die Rohre in jedem Stockwerk zu einer Reihe von Spiralen oder Schlangenwindungen K, H, E gekrümmt, welche das Innere besonderer ofenartiger Gehäuse D, G, J erfüllen oder auch in die Wände, vorzüglich unterhalb der Fenster, eingelassen sind; auch in der Feuerung liegt ein ähnliches Schlangenrohr A, in welchem das Wasser zuerst erhitzt wird. Ueber der Serpentine im höchsten Stockwerke befindet sich noch ein Expansionsgefäß a, in welchem eine bestimmte Menge Luft eingeschlossen ist, die zusammengedrückt wird, sobald sich das Wasser beim Steigen der Temperatur ausdehnt: dadurch ist dem Wasser und den Dämpfen für ihre Ausdehnung etwas Raum gegeben und die Gefahr der Explosion der Dämpfe, die bisweilen bis zu einem ziemlich hohen Drucke angespannt werden, wird etwas verringert. Gleichwohl ist doch dieses System der Heizung nicht ungefährlich, wenn der Druck zu sehr gesteigert wird: denn schon durch die ziemlich hohe Temperatur, welche die Spiralen erhalten, kann das Holzwerk in der Nähe in Brand gerathen, und sollte sich einmal die Dichtung der Röhren lösen, so können Explosionen erfolgen, oder wenigstens können Personen, die sich in der Nähe befinden, sehr gefährliche Brandwunden davontragen. Uebertreibt man den Grad der Spannung nicht, so ist dieses System der Centralheizung vielleicht als das vortheilhafteste anzusehen.

Wenn der Wasserdampf sich condensiert, d. h. wenn er aus seinem Zustande in die Form des flüssigen Wassers zurückkehrt, so giebt er eine ziemlich große Menge von Wärme an die Körper, mit denen er in Berührung kommt, ab: auf diese Erfahrung gründet sich ein weiteres

System der Centralheizung, die Dampfheizung. Aus einem Kessel steigen bei derselben verhältnißmäßig ziemlich enge Rohre auf und leiten den Dampf in die Räume, welche geheizt werden sollen, von wo aus sie zum Kessel zurückkehren, in welchen sie nunmehr von Unten her eindringen. Aber abgesehen davon, daß die Erwärmung eine sehr ungleichmäßige wird, wenn auf die Heizung nicht die größte Aufmerksamkeit verwendet wird, daß ferner das Singen des Dampfes in den Röhren ein ziemlich lästiges Geräusch giebt, ist dieses System mehr als alle andern der Gefahr der Explosion ausgesetzt: man hat es deshalb fast vollständig wieder verlassen und bringt es höchstens in größeren Fabriken noch zur Anwendung, weil sich dort der Dampf, der den Betriebsmaschinen entströmt, auf diese Weise am vortheilhaftesten verwerthen läßt.

Dagegen ist ein gemischtes System, welches von einem Ingenieur Namens Grouvelle erfunden wurde, sehr zu empfehlen: bei demselben steigt Wasserdampf aus einem Kessel durch Röhren auf, welche in offnen Gefäßen ausmünden, die mit Wasser gefüllt und in den zu heizenden Räumen in ähnlicher Weise vertheilt sind wie die Behälter bei der Heißwasserheizung. In diesen Gefäßen verdichtet sich der Dampf und giebt seine Wärme an das Wasser ab, wodurch sich dieses selbst erwärmt und dadurch fähig wird, auch den Raum, in dem es sich befindet, zu heizen. Eine Explosion ist bei diesem Systeme nicht zu befürchten, da die Spannung des Dampfes niemals den Betrag einer Atmosphäre weit überschreiten kann.

Wir können hier ein System der Heizung noch kurz erwähnen, das sich durch seine Sauberkeit und Bequemlichkeit auszeichnet, das sich aber nur in größeren Städten anwenden läßt und auch da nicht zu den billigsten gehört: wir meinen die Heizung mit Gas. Streng genommen ist dieselbe nicht zu den Centralheizungen zu rechnen, sondern es ist nur ein besonderes Brennmaterial bei ihr an die Stelle der sonst gebräuchlichen Stoffe gesetzt worden. Man läßt das Gas in einer Röhre aus einer Reihe von Brennern ausströmen und verbrennt es unter starkem Luftzutritt; es muß hierbei die Luft in die Mitte der Flamme selbst hineintreten, damit die Verbrennung möglichst schnell und möglichst vollkommen erfolgt, was man daran erkennt, daß die Flamme nur sehr schwach leuchtet. Für die Heizung der Zimmer hat dieses System, welches bei uns bis jetzt zu diesem Zwecke so gut wie noch gar nicht

zur Anwendung gebracht worden ist, den großen Uebelstand, daß es die Luft in hohem Grade austrocknet, bei uns beschränkt sich daher die Anwendung des Leuchtgases zu Zwecken der Heizung auf Kücheneinrichtungen und auf industrielle Anlagen.

§ 5. Die Brennmaterialien.

Die letzte Betrachtung hat uns von selbst zu der Frage nach den verschiedenen Brennmaterialien geführt, und so wollen wir jetzt einige Worte über dieselben, besonders auch über den verschiedenen Werth, den sie für die Wärmeentwickelung besitzen, hinzufügen.

Unter allen Brennstoffen ist unstreitig das Holz derjenige, der am frühesten zur Anwendung gekommen ist, und auch jetzt bildet dasselbe in vielen weitausgedehnten Landschaften noch das einzige Heizungsmaterial; gewiß ist auch dieser Stoff unter allen Brennmaterialien das angenehmste, zugleich aber auch das theuerste, ausgenommen in den Ländern, welche noch mit dichten Wäldern bedeckt sind und in größerer Entfernung von Kohlenbergwerken liegen. Je mehr aber die Wälder verschwinden, je dichter die Bevölkerung und je größer das Bedürfniß an Heizungsmaterialien für den Fabrikbetrieb wird, um so mehr hat man auch nach anderen Stoffen suchen müssen um dieses Bedürfniß zu decken. Für die meisten Länder hat sich als billigstes Heizungsmaterial der in der Erde aufgespeicherte Reichthum an Kohlen ergeben, und so sind in allen Culturländern jetzt die Steinkohle, der Anthracit, die Braunkohle und das bei der Destillation der Steinkohle zurückbleibende Product, der Coke, die wichtigsten Brennstoffe, zu denen in der niederdeutschen Ebene und andern daran reichen Ländern noch der Torf kommt, der in seinen Eigenschaften dem Holze am nächsten steht. Man sieht, daß alle die genannten Stoffe dem Reiche der Pflanzen entstammen, mögen sie nun zu unsern Tagen gewachsen sein oder ihre Entstehung geologischen Epochen verdanken, die vielleicht Millionen von Jahren hinter unserer Zeit zurückliegen; nun hat aber die Wissenschaft gezeigt, daß die Ausscheidung des Kohlenstoffes in den Pflanzen nur unter der Einwirkung der Sonnenstrahlen sich vollzieht, und so sind es schließlich die Strahlen der Sonne, denen wir in der Hauptsache alle Wärme verdanken. Auch das Leuchtgas ist schließlich als ein Product der organischen Welt an-

zusehen, da es einen Bestandtheil der Steinkohle bildet, aus welcher es durch Destillation abgeschieden werden kann.

Will man den Heizwerth der einzelnen Stoffe untersuchen, so hat man zu bestimmen, welche Wärmemenge ein Kilogramm derselben liefert, wenn es vollständig verbrannt wird, und wenn zugleich alle von ihm ausgehende Wärme Verwendung findet. Als Maß für die Wärmemenge aber wählt man immer die Calorie, d. h. diejenige Wärmemenge, welche erforderlich ist um die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser um 1° zu erhöhen: wenn man also sagt, daß die Heizkraft der Steinkohle 8000 beträgt, so meint man damit, daß durch das Verbrennen von 1 Kgr. Steinkohle die Temperatur von 8000 Kgr. Wasser um 1°, oder von 800 Kgr. Wasser um 10° erhöht wird. Für die wichtigsten Brennmaterialien haben sich folgende Werthe der Heizkraft in Calorien und die nebenstehenden Verhältnißzahlen für den Heizwerth ergeben:

	Calorien:	Heizwerth:
Steinkohle	8000	1,00
Anthracit	7500	0,94
Coke	7000	0,88
Braunkohle	6500	0,81
Holzkohle	6000	0,75
Torf	5000	0,63
Holz, trocken	4000	0,50
Holz, frisch (mit 20% Wasser)	3000	0,38
Leuchtgas	10000	1,25

Man sieht, daß das Leuchtgas den größten Heizwerth besitzt: dann folgt Steinkohle, Anthracit und Coke; am tiefsten aber steht das Holz, besonders wenn es nicht gut ausgetrocknet ist. Daß bei unserer Heizung aber von der Wärme, die sich beim Verbrennen entwickelt, ein sehr großer Theil nicht ausgenutzt wird, sondern durch den Schornstein entweicht, selbst wenn die Heizungsanlagen so gut eingerichtet sind, wie nur möglich, haben wir schon erwähnt, und wir wollen jetzt nur noch durch ein Beispiel zur Anschauung bringen, auf welche Summe sich diese Verluste beziffern können. Nach einer Berechnung, die im Jahrbuche des Bureau des longitudes für 1872 enthalten ist, betrug im Jahre 1869 der Verbrauch an Brennmaterial in der Stadt Paris 994,057 Kubikmeter Holz, 4,902,315 Hektoliter Holzkohle und 682,011,827 Kgr. Steinkohle, Coke und Torf. Rechnet man für

jeden dieser Stoffe einen Preis, der noch hinter dem Mittelpreise zurücksteht, so ergiebt sich ein Aufwand von mindestens 69 Millionen Frank: nämlich 25 Millionen für das Holz, 20 Millionen für die Holzkohle und 24 Millionen für die Steinkohle u. s. w., wobei zu beachten ist, daß die Holzkohle und ein Theil der mineralischen Kohle nicht zur Heizung verwendet worden ist, sondern den Zwecken der Industrie gedient hat. Da man nun wohl annehmen kann, daß bei unseren Feuerungsanlagen sicher im Durchschnitt 60% des Brennmateriales ungenutzt als Rauch entweicht, so findet man einen jährlichen Verlust von mindestens 40 Millionen Frank. Das gilt für die einzige Stadt Paris: wie mag sich wohl die Rechnung stellen, wenn man sie auch nur über die europäischen Culturländer ausdehnen wollte? Man sieht, daß hier Theorie und Praxis noch ein weites Feld findet, auf dem durch Anwendung rationeller Methoden Einrichtungen getroffen werden können, die der Gesundheit wie dem Geldbeutel der Consumenten in gleichem Maße zu gute kommen.

Zweites Kapitel.

Leitung und Strahlung der Wärme.

§ 1. Wohnung und Kleidung.

Die Temperatur eines Raumes hängt nicht allein von den Heizungsapparaten ab, die in ihm die Luft zu erwärmen bestimmt sind, und von der Wärmemenge, welche von denselben ihm, sei es durch Strahlung, sei es durch Leitung oder auf einem anderen Wege, geliefert werden: sondern sie wird eben so gut auch durch den Zustand bestimmt, in dem sich die Luft im Freien befindet, und durch die Fähigkeit der Mauern und Scheidewände dem Entweichen der Wärme aus den inneren Räumen nach Außen zu widerstehen. Dieser unvermeidliche Verlust vollzieht sich mehr oder weniger schnell, je nachdem die Mauern dicker oder weniger stark sind und aus Materialien bestehen, welche bessere oder schlechtere Leiter der Wärme sind: endlich kommt es auch noch darauf an, ob die Zahl der Oeffnungen, die sich in ihnen befinden und die zur Aufnahme der Fenster bestimmt sind, durch welche das Licht des Tages in die

Zimmer eindringen soll, größer oder geringer ist, und welche Oberfläche dieselben der Luft darbieten.

Dicke Mauern, welche aus Materialien ausgeführt sind, die für die Wärme ein nur geringes Leitungsvermögen besitzen, gewähren dem Bewohner den doppelten Vortheil, daß sie ihn im Winter vor der Kälte, im Sommer aber vor der Hitze, die von Außen eindringen will, schützen. In dieser Beziehung lassen sich die verschiedenen Arten von Bruchsteinen, wie Granit, Sandstein, Porphyr und besonders auch Marmor, weniger gut anwenden, als Ziegelstein; und noch vorzüglicheres Material, das die Wärme in noch viel geringerem Grade leitet, ist das Holz, und so finden wir in den Ländern, in welchen die Temperatur des Winters sehr herabsinkt, wie z. B. in Rußland, eine große Zahl der Wohnungen auf dem Lande aus Holz errichtet: die Wände derselben bestehen aus einer doppelten Schicht dicker Pfosten oder Breter, zwischen denen ein Zwischenraum frei bleibt, welcher mit verschiedenen Stoffen, wie mit Häckerling, mit Sägespänen oder mit trocknem Moose ausgefüllt wird. Die letzteren Stoffe sind zu derartigen Zwecken ganz besonders geeignet, weil sie eine Menge Luft in sich einschließen: die Luft ist aber ein sehr schlechter Leiter für die Wärme, wenn sie sich nicht weiter bewegen und dabei die Wärme mit sich fortführen kann; dadurch, daß nun in den genannten Stoffen jede Bewegung der Luft fast unmöglich gemacht wird, gewährt dieselbe den besten Schutz gegen das Eindringen der Kälte, die im Freien herrscht. Diese Eigenschaft der Luft macht man sich weiter auch zu Nutze, wenn man die Zimmer dadurch schützt, daß man vor den eigentlichen Fenstern noch eine zweite Lage, die sogenannten Doppelfenster, anbringt: der Schutz, den dieselben gewähren, beruht keineswegs etwa in der dünnen Glasschicht, die neu hinzukommt, sondern einzig in dem Leitungswiderstande, den die eingeschlossene Luft ausübt. Bei einfachen Fenstern wird im Winter die Luft, welche von Außen dicht an der Glasscheibe anliegt, durch die Wärme, die vom Zimmer aus die Glasscheibe durchdringt, erwärmt; sie steigt auf und kalte Luft tritt an ihre Stelle: bei der Anwendung der Doppelfenster ist dies nicht möglich, vorausgesetzt daß dieselben gut schließen; ist letzteres nicht der Fall, so gewähren sie keinen Nutzen, ja es kann sogar die Wärmeentziehung mit noch größerer Geschwindigkeit erfolgen, als wenn sie gar nicht vorhanden wären, wenn die Luft anfängt in dem Raume, den sie

einschließen, regelmäßig zu circulieren. Eine ruhende Luftschicht bildet also eine Scheidewand, welche durch die dunkle Wärme des Ofens nicht durchbrochen werden kann: anders dagegen gestalten sich die Verhältnisse, wenn es sich um Wärme handelt, die in Form von Strahlen, die zugleich hell leuchten, zu uns gelangt, also besonders um die Wärme, welche die Sonne aussendet; die letztere wird in ihrem Laufe durch die Luft so gut wie gar nicht aufgehalten, und wenn also die Luftschicht zwischen den Doppelfenstern die Wärme, die unseren Zimmern durch den Ofen mitgetheilt ist, nicht nach Außen entweichen läßt, so gestattet sie andererseits den Wärmestrahlen, die von Außen kommen, vollständig freien Zutritt, gewährt also somit einen doppelten Vortheil. Besonders wichtig ist dieses Verhalten der Luftschicht für die beiden Arten von Wärme bei den Gewächshäusern, weil die Pflanzen, die sich in denselben befinden, einestheils vor Kälte geschützt werden müssen, anderntheils aber zu ihrem Gedeihen das Sonnenlicht bedürfen, das ihnen entzogen wird, wenn man zum Schutze gegen die Kälte Strohmatten oder andere undurchsichtge Gegenstände über die Fenster deckt.

Weniger als die Räume der oberen Stockwerke sind die Kellerräume dem Wechsel der Temperatur ausgesetzt, da bei ihnen die Wärme noch weniger Gelegenheit findet, von Innen nach Außen oder von Außen nach Innen zu dringen: deshalb halten sich dieselben während des ganzen Jahres auf einer mittleren Temperatur, welche um so gleichmäßiger ist, je tiefer der Keller in der Erde hinabreicht. Nach Quetelet sind schon bei einer Tiefe von 4 Fuß die täglichen Aenderungen der Temperatur nicht mehr zu bemerken, bei einer Tiefe von 28 Fuß kann man aber auch die jährlichen Aenderungen kaum noch wahrnehmen, und ein Thermometer, welches Cassini und Legentil im Jahre 1783 im Keller der Sternwarte zu Paris in der Tiefe von 86 Fuß aufgestellt hatten, zeigte zwar im Jahre 1817 nach Arago's Messung einen um etwa $^1/_4{}^0$ höheren Stand, was aber wohl in den Veränderungen des Instrumentes selbst seinen Grund haben mag, während im Laufe der einzelnen Jahre Aenderungen nicht wahrgenommen werden konnten. Die Keller erscheinen daher im Winter wärmer, im Sommer aber kälter, und wenn sie auch wegen der Feuchtigkeit, die in ihnen stets vorhanden ist, und wegen des Mangels an Licht und frischer Luft nicht zu Wohnungen taugen, so eignen sie sich dafür um so besser für die Aufbewahrung von Gegen-

ständen, welche im Winter durch die Kälte oder im Sommer durch das Uebermaß der Wärme leiden würden.

Auch das Eis des Winters, das man für den Bedarf des Sommers aufbewahren will, kann man vor dem Schmelzen dadurch schützen, daß man es in tiefen Gruben ansammelt, welche mit Ziegelsteinen ausgemauert sind; hat man die Gruben mit Eisblöcken gefüllt, so übergießt man während des scharfen Frostes dieselben mit Wasser: die Eisdecke, welche sich bildet, ist der beste Schutz für die darunter liegenden Stücke, da auch das Eis zu den schlechtesten Wärmeleitern zu zählen ist. Weiter errichtet man über der Eisgrube ein Dach, das man dicht mit Stroh und Rasen bedeckt, wodurch noch weiterer Schutz vor dem Eindringen der Sonnenwärme gewährt wird: daß es empfehlenswerth ist, die Eisgruben an Stellen zu verlegen, die vor den Sonnenstrahlen im Sommer durch den Schatten, den Gebäude oder hohe Bäume werfen, geschützt sind, bedarf kaum der Erwähnung.

Genau dasselbe Princip, auf dem die Einrichtungen beruhen, die wir zum Schutze unserer Bauwerke vor Kälte und Hitze treffen, daß wir sie nämlich von allen Seiten mit schlechten Wärmeleitern dicht umgeben, kommt in gleicher Weise in Anwendung, wenn es gilt unseren eigenen Körper vor den verderblichen Einflüssen der Hitze und der Kälte zu bewahren. Der Mensch ist nun einmal den Thieren gegenüber von der Natur in der Beziehung weniger gut bedacht, daß ihm das schützende Kleid fehlt, das sich bei jenen in der Form von Haaren, Wolle, Federn oder auch nur von dicker Haut zeigt, und so ist es seiner Erfindungsgabe überlassen, daß er sich selbst die Hülle bereite, welche die Gefahren der Kälte und der Hitze von seinem Körper abhält: denn daß auch gegen die Hitze ein dichtes schützendes Kleid erforderlich ist, hat mancher Reisende in heißen Gegenden schon an sich selbst erfahren, der leichtsinnig die Warnung der Eingeborenen nicht beachtete und sich in zu leichter Kleidung den Sonnenstrahlen aussetzte.

Je weiter die Cultur vorschreitet, um so künstlicher werden auch die Stoffe zubereitet, die der Mensch zu seiner Körperbedeckung anwendet, um so mehr werden sie den Bedürfnissen gerade unseres Körpers angepaßt und um so weiter entfernen sie sich in ihrer Beschaffenheit von dem Kleide der Thiere. Auf der niedrigsten Culturstufe wählt man einfach die Haut der Thiere, die man auf der Jagd getödtet hat, und

bedeckt mit derselben den Körper, ohne daß sie zuvor einer weiteren Bearbeitung unterzogen würde; ein Zeichen von einem gewissen Fortschritte ist schon, wenn die Häute durch Gerben zuvor wasserdicht gemacht werden. So besitzen in der Anfertigung der Kleidung die Eskimos (Fig. 227) erstaunliche Fertigkeit, während sie im Uebrigen noch auf einer äußerst niedrigen Stufe der Cultur stehen, und man kann nur mit Verwun-



Fig. 227. Kleidung der Eskimos.

derung die Feinheit und Regelmäßigkeit der Nähte und der durch dieselben hergestellten Verzierungen an den Kleidern betrachten, welche Nordpolfahrer von ihren Reisen zu uns mitbringen. Daß die Felle der Thiere wegen des geringen Leitungsvermögens, das sie für die Wärme besitzen, ganz besonders zum Schutze unseres Körpers geeignet sind, wissen auch wir, allein in den meisten Fällen begnügen wir uns, da uns die reine Pelzkleidung zu kostspielig sein würde und da unser Klima einen so vollkommenen Schutz nur in Ausnahmefällen er-

fordert, mit Geweben aus Fasern, welche in gleicher Weise, wenn auch nicht in gleicher Güte wirken.

Die Temperatur des menschlichen Körpers ist in allen Zonen und in allen Jahreszeiten nahezu constant und beträgt im Mittel ungefähr 37° C., von den äußeren Einflüssen wird sie so gut wie gar nicht abgeändert; so sagt Tyndall in seinem Werk über die Wärme (S. 257. d. deutschen Ausg.): „Das Blut des Lappländers ist nicht merklich kälter als das Blut des Hindu; und ein Engländer, der vom Nordpole nach dem Südpole fährt, wird seine Bluttemperatur am Aequator kaum gesteigert und in der Nähe des Südpoles kaum vermindert sehen." Diese merkwürdige Erscheinung läßt darauf schließen, daß eine höhere äußere Temperatur nicht die Wirkung herbeiführt, daß sich auch der Wärmegrad im Innern unseres Körpers entsprechend erhöht, sondern daß die Wärme, die in größerer Menge zugeführt wird, vollständig bei anderen Vorgängen, die sie hervorruft, besonders bei der erhöhten Absonderung des Schweißes aufgebraucht wird: wenn unsere Umgebung dagegen eine niedrigere Temperatur besitzt, sodaß unser Körper beständig durch Strahlung Wärme abgeben muß, so wird dem entsprechend auch die Thätigkeit im Innern, besonders in den Lungen energischer werden müssen, damit jener Verlust an Wärme wieder ausgeglichen wird; daher ist es auch in kalten Gegenden nothwendig, daß man diesen Proceß der Wärmeentwickelung durch Zuführung kräftiger Nahrung unterstützt. In beiden Fällen muß man aber den Körper vor jeder plötzlichen Temperaturänderung schützen, und dies geschieht dadurch, daß man ihn mit schlechten Wärmeleitern umgiebt.

Werden nun als solche schlechte Wärmeleiter irgend welche Gewebe angewendet, so sind für deren Tauglichkeit zu diesem Zwecke drei wesentliche Momente ins Auge zu fassen: erstens das Leitungsvermögen des Stoffes, aus dem sie verfertigt sind, zweitens die Dichtigkeit des Gewebes, und drittens die Dicke desselben. Was den ersten Punkt betrifft, so folgen nach Rumford einige der zur Anfertigung unserer Kleidung, wie zur Füllung unserer Betten gebräuchlichen Stoffe in nachstehender Reihe, welche mit dem besten Wärmeleiter, also dem am wenigsten zum Schutze tauglichen Stoff beginnt, auf einander: gedrehte Seide, Leinen, Baumwolle, Schafwolle, Taffet, Rohseide, Biberpelz, Eiderdunen, Hasenfell. Seide ist aber nicht allein ein weit besserer Leiter

der Wärme als Wolle, sondern die aus ersterer verfertigten Gewebe sind auch viel dichter und schließen mithin weit weniger Luft in ihren Poren ein, sodaß in Bezug auf die Brauchbarkeit für die eigentlichen Zwecke der Bekleidung die Seide von der Wolle bedeutend übertroffen wird. Doch nicht allein gegen die Kälte gewährt Wolle, und mehr noch Pelzwerk, einen besseren Schutz, sondern ebenso auch gegen die allzu heftigen Strahlen der Sonne, und deshalb tragen die Völker des südlichen Europa von jeher mit Vorliebe leichte Wollenstoffe, und die Beduinen der Wüste legen ihre Schafpelze weder im Winter noch im Sommer ab.

Doch auch die Farbe der Kleidung ist von der größten Wichtigkeit: denn im Allgemeinen strahlt die Wärme leichter aus dunklen Oberflächen aus, als aus hellen, und andererseits dringen die Wärmestrahlen auch wieder in jene leichter ein, als in diese; haben wir doch alle die Erfahrung gemacht, wie lästig uns die Hitze wird, wenn wir einmal gezwungen sind, uns in schwarzer Kleidung der Julisonne auszusetzen, und wie gering der Schutz ist, den uns ein dunkler Schirm gewährt im Vergleiche mit den jetzt allgemein verbreiteten hellen Leinwandschirmen. Also im Sommer, wie im Winter würde helle Kleidung unbedingt den Vorzug verdienen: im Sommer, damit die Strahlen der Sonne nicht so leicht eindringen, im Winter, damit die Wärme unseres Körpers nicht so leicht nach Außen strahle.

§ 2. Verschiedene Anwendungen des geringeren oder größeren Leitungsvermögens.

Wenn man im Winter im Freien verschiedene Gegenstände mit der bloßen Hand angreift, so hat man das Gefühl, als ob dieselben ganz verschiedene Temperaturen besäßen: Metallgeräthschaften erscheinen kälter als Steine, und diese wieder kälter als Holz; bei sehr großer Kälte kann das Erfassen von Metallen sogar schädlich werden, indem sich an der Berührungsstelle auf der Haut ähnliche Blasen bilden, wie sie bei Brandwunden entstehen. Fragt man, worauf sich dieser Unterschied gründet, so findet man leicht, daß er sich aus dem verschiedenen Leitungsvermögen der einzelnen Stoffe erklärt: Metalle leiten die Wärme sehr gut, durch sie entweicht also auch, wenn sie kalt sind, die Wärme unserer Hand bei der Berührung sehr schnell, sodaß wir das Gefühl der

Kälte in hohem Grade empfinden; durch Holz dagegen erfolgt der Wärmeabfluß nur langsam und wird uns dadurch viel weniger empfindlich, weil genügende Zeit vorhanden ist, damit sich die entwichene Wärme aus dem Inneren unseres Körpers wieder ersetze. Deshalb ist die Dielung des Fußbodens mit Holz der Steintäfelung vorzuziehen, weil das Holz die Wärme viel schlechter leitet, als der Stein, und aus gleichem Grunde erscheinen Dielen aus Tannenholz weniger kalt als

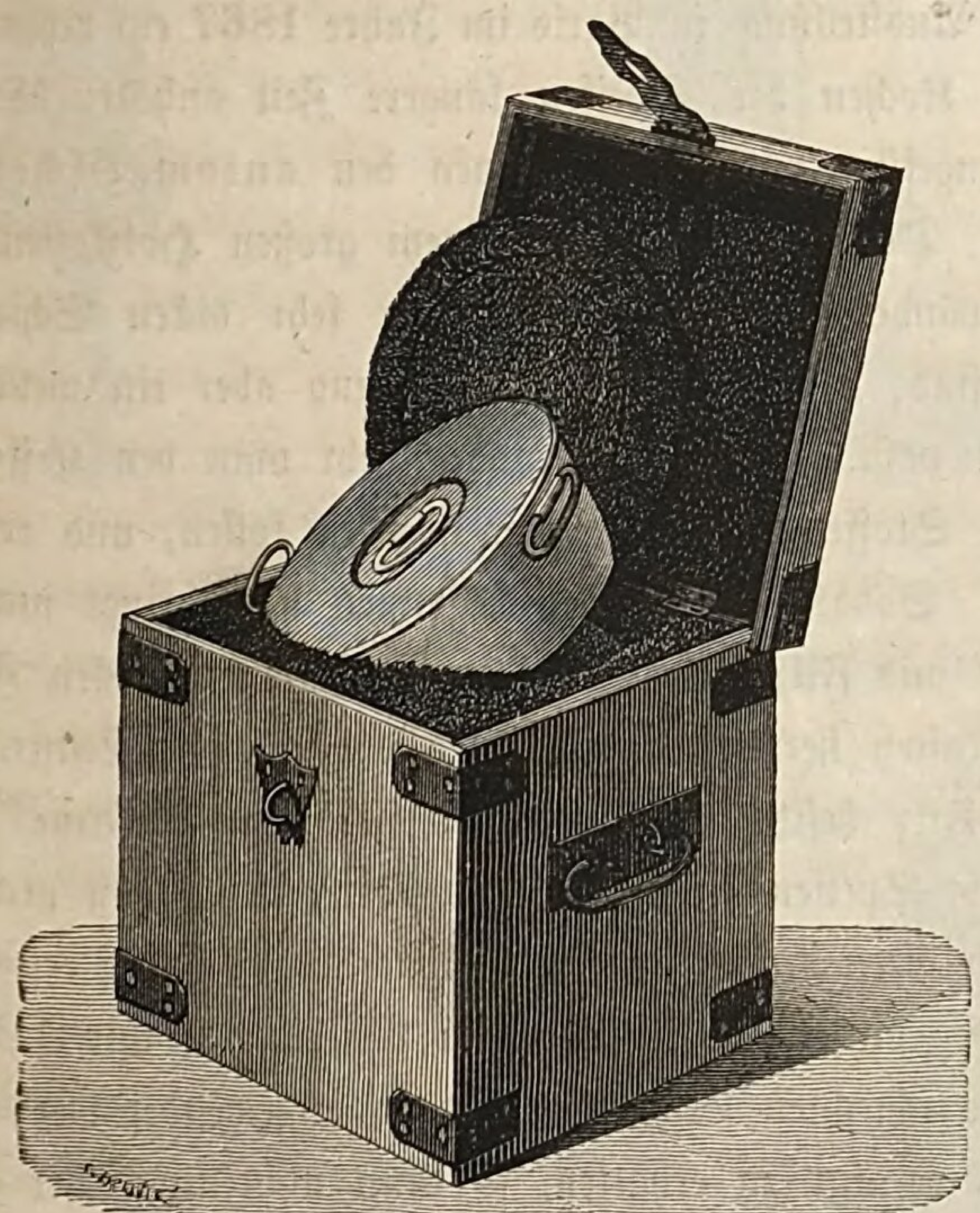


Fig. 228. Automatischer Kochtopf.

solche aus Eichenholz; auch durch das Tränken mit Oel wird die Leitungsfähigkeit des Holzes erhöht, sodaß gestrichene Dielen kälter erscheinen als rohe. Ebenso eignet sich wegen des großen Leitungsvermögens das Wachstuch nicht gut zur Bedeckung des Fußbodens, und wollene Stoffe sind ihm weit vorzuziehen. Doch nicht allein zum Schutze gegen die Kälte gebraucht man schlechte Wärmeleiter, sondern in gleicher Weise bedient man sich derselben, um sich vor den Wirkungen großer Hitze zu bewahren. Deshalb versieht man alle Werk-

zeuge aus Metall, welche ihrer Bestimmung gemäß erhitzt werden sollen, wie Löthkolben, Zangen, Plätteisen, und andere mehr mit Handgriffen aus Holz, die bisweilen des besseren Schutzes wegen noch mit Stroh oder Tuchstreifen umwickelt werden, und beim Abheben der Töpfe vom Herde faßt man dieselben mit Angreifern aus Leder oder Wollenstoff an.

Doch auch wenn es gilt, Speisen und Getränke längere Zeit warm zu halten, umgiebt man die Gefäße, in denen sie enthalten sind, mit Umhüllungen aus schlechten Wärmeleitern, wie Wolle oder Filz. So war auf der Ausstellung zu Paris im Jahre 1867 ein Apparat zu sehen, in dem das Kochen der Speisen längere Zeit anhält, ohne daß neue Wärme hinzugefügt wird: wir meinen den automatischen Kochtopf (Fig. 228). Derselbe besteht aus einem großen Holzkasten, dessen Boden, Seitenwände und Deckel mit einer sehr dicken Schicht von Filz ausgefüttert sind, in dessen innerer Höhlung aber ein metallener Kessel genau hinein paßt. Beim Gebrauche hebt man den Kessel aus, füllt ihn mit den Stoffen, welche gekocht werden sollen, und erhitzt ihn bis zum Sieden. Sobald das Sieden begonnen hat, bringt man den Kessel in das Lager aus Filz, bedeckt ihn noch mit einem dicken Filzdeckel und schließt den Kasten hermetisch. Infolge des schlechten Leitungsvermögens, welches der Filz besitzt, behält der Kessel seine Wärme längere Zeit bei, sodaß die Speisen in ihm gar werden, ohne daß man sich weiter um sie zu kümmern braucht. Die Beobachtungen haben ergeben, daß sich die Temperatur binnen 3 Stunden im Mittel um nur 12° erniedrigte.

Wenn die schlechten Wärmeleiter dazu angewendet werden, den Körpern ihre Temperatur zu erhalten, so kann man umgekehrt gute Wärmeleiter überall da anwenden, wo es gilt einem Stoffe schnell seine hohe Temperatur zu entziehen. So hat der englische Physiker Humphrey Davy beobachtet, daß, wenn man in die Mitte einer Flamme ein feines Drahtnetz hält, das Verbrennen über diesem Netze nicht weiter erfolgt, weil die Gase durch die Berührung mit den Metalldrähten so stark abgekühlt werden, daß der Verbrennungsproceß dadurch unterbrochen wird. Läßt man dagegen Leuchtgas aus einem Brenner durch ein solches Netz strömen, und entzündet man es über demselben, so schlägt die Flamme ebenfalls nicht nach der unteren Seite durch. Diese Beobachtung führte ihn auf die Construction einer Vorrichtung, welche die Bergleute vor den Gefahren schützen soll, denen sie durch die Ent-

zündung brennbarer Luftarten, die sich bisweilen in den Kohlenbergwerken ansammeln, den sogenannten schlagenden Wettern, ausgesetzt sind. Dieser

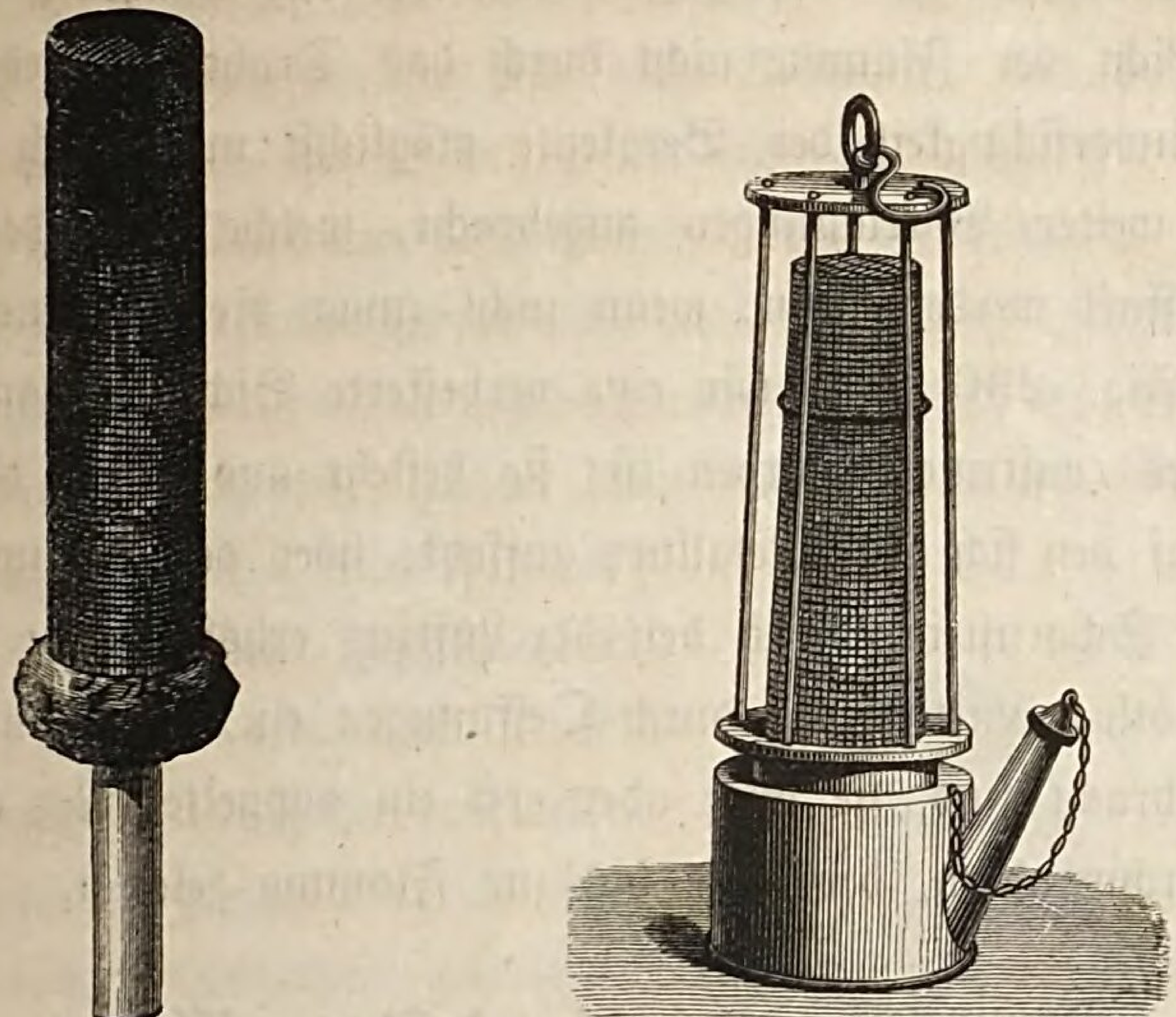


Fig. 229. Davy'sche Sicherheitslampe.

Apparat, den man als **Davy'sche Sicherheitslampe** (Fig. 229) bezeichnet, besteht aus einer Lampe, deren Flamme vollständig von einem feinen Netze aus Platindraht umgeben ist. Sollte der Bergmann mit einem solchen Lichte in ein schlagendes Wetter gerathen, so würde zwar das brennbare Gas durch die Maschen zur Flamme hindurchdringen und sich dort entzünden, das Verbrennen beschränkt sich aber auf den innern Raum der Lampe, welche zwar verlöschen wird, sodaß der Bergmann den Rückweg im Finstern antreten muß; die große Gefahr der Explosion ist aber vermieden. Wenn wir trotzdem noch häufig von großen Explosionen schlagender Wetter in den Kohlenbergwerken lesen, so werden wir wohl nicht mit Unrecht annehmen dürfen, daß in den bei weitem meisten Fällen die Katastrophen auf die Nachlässigkeit und übergroße Sicherheit zurückzuführen sind.

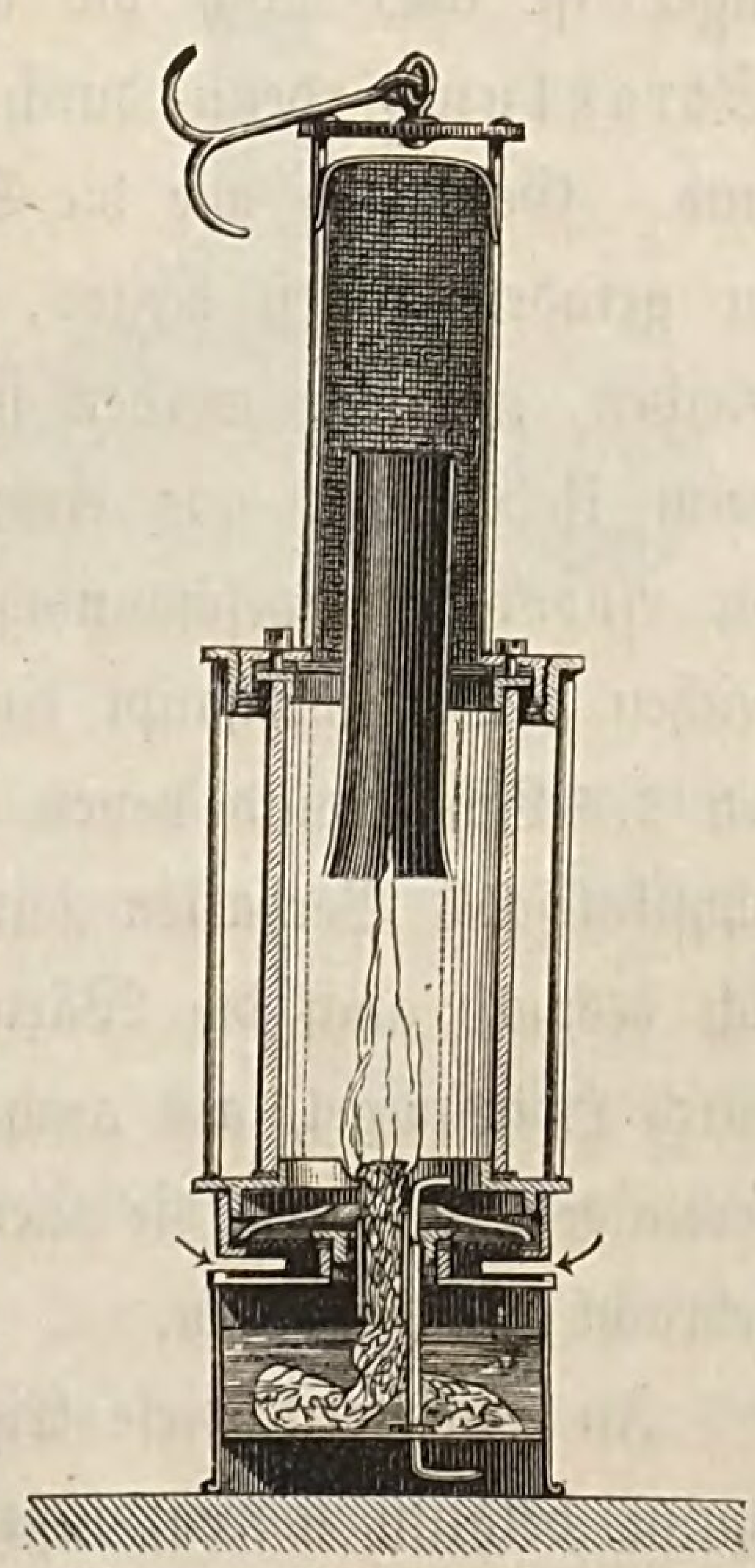


Fig. 230. Sicherheitslampe nach Combes.

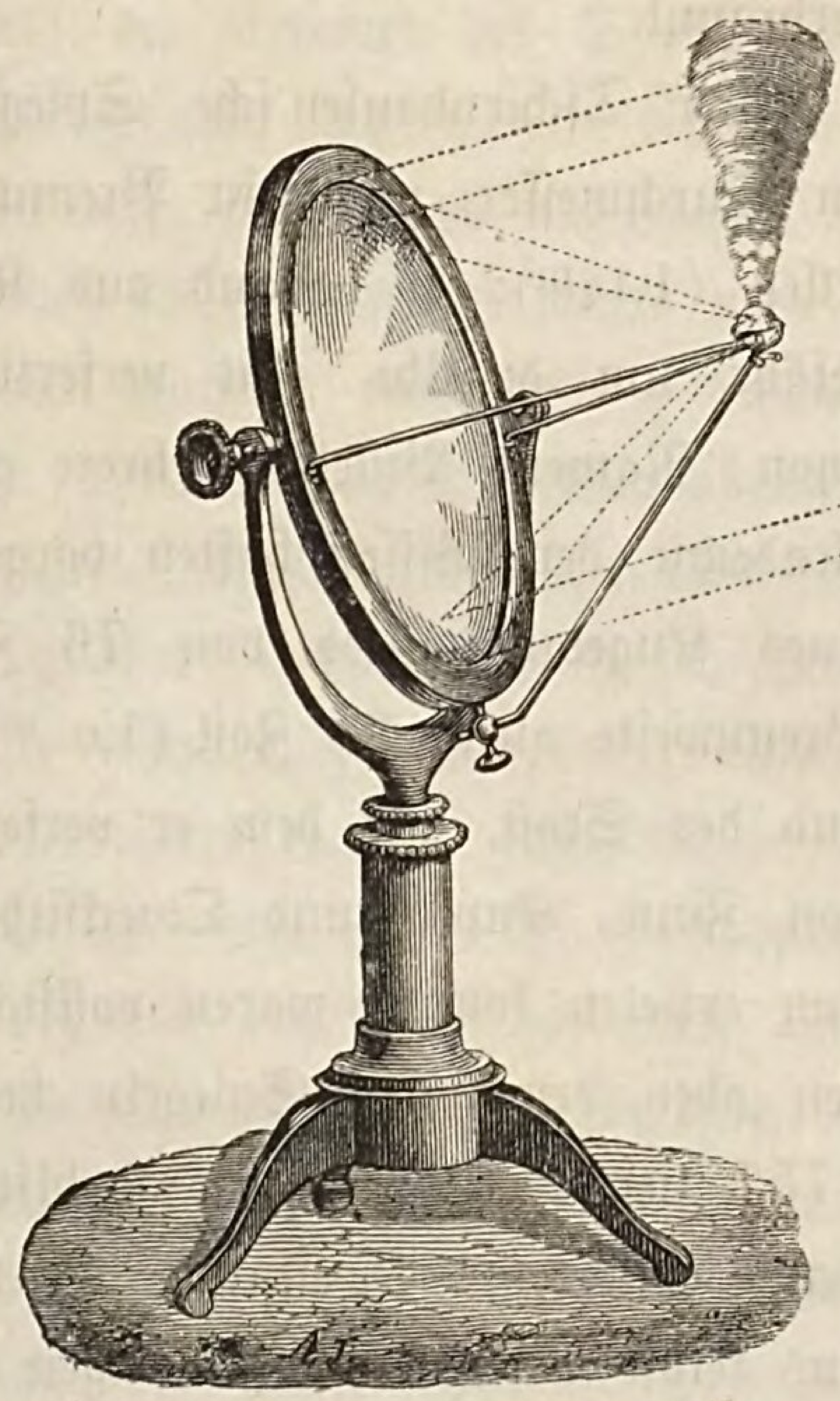
Die Sicherheitslampe ist später vielfach verbessert worden, besonders dadurch, daß man den unteren Theil der Umhüllung aus einem starken Glascylinder verfertigt, auf welchen man erst das Drahtnetz aufsetzt, damit das Licht der Flamme nicht durch das Drahtgitter gedämpft wird. Um die Unvorsichtigkeit der Bergleute möglichst unschädlich zu machen, hat man weiter Vorrichtungen angebracht, welche verhindern, daß die Lampe geöffnet werden kann, wenn nicht zuvor die Flamme ausgelöscht ist. In Fig. 230 sehen wir eine verbesserte Sicherheitslampe, wie sie von Combes construiert worden ist: sie besteht aus einem dicken Glascylinder, auf den sich das Metallnetz aufsetzt; über der Flamme erhebt sich ein eiserner Schornstein, durch den der Luftzug erhöht wird; die für das Brennen nöthige Luft dringt durch Oeffnungen ein, welche unten an der Seite angebracht sind, sie muß aber erst ein doppeltes Netz aus Metalldrähten durchwandern, bevor sie bis zur Flamme gelangt.

§. 3. Brennspiegel und Brenngläser.

Wir haben uns bisher in der Hauptsache auf die eine Art der Ausbreitung der Wärme beschränkt, nämlich auf die Leitung: noch wichtiger ist aber auch die andere Weise der Ausbreitung, nämlich die Strahlung, denn durch sie allein gelangt die Wärme der Sonne zu uns. Genau so wie die Strahlen des Lichtes gehen auch die der Wärme in geraden Linien weiter, so lange sie in einem und demselben Mittel bleiben, wie jene werden sie an glatten Oberflächen zurückgeworfen und beim Uebergange aus einem Mittel in das andere gebrochen, und auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit scheint einen eben so hohen Werth zu erreichen. Ob überhaupt ein wesentlicher Unterschied zwischen den Strahlen des Lichtes und denen der Sonne besteht, ist sehr zweifelhaft, da ihr physikalisches Verhalten durchaus keine Verschiedenheit zeigt. Es lassen sich deshalb auch die Wärmestrahlen ebenso wie die Lichtstrahlen sowohl durch Hohlspiegel, als auch durch linsenförmige Gläser in einem Punkte vereinigen, wodurch die Temperatur daselbst auf einen sehr hohen Grad gebracht werden kann.

In wie weit diese Eigenschaften der strahlenden Wärme im Alterthume bekannt waren, läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln, aber schon daß die Erzählung von der Verbrennung der römischen Flotte durch Hohlspiegel, welche der Mathematiker Archimedes in Syracus aufgestellt hatte,

überhaupt entstehen konnte, ist selbst in dem Falle, daß der Vorgang in das Bereich der Sage gehört, immerhin ein Beweis dafür, daß den Alten die Kenntnisse in diesem Punkte nicht vollständig fehlten. Auch andere Thatsachen sprechen für diese Annahme, und manche Stelle aus den Schriften der Alten, wie z. B. eine oft angeführte Stelle aus den Wolken der Aristophanes unterstützen diese Behauptung. Auf alle Fälle haben die Untersuchungen, welche man über diesen Punkt anstellte, Veranlassung zu Experimenten gegeben, welche zeigten, daß man sehr bedeutende Wärmewirkungen erzielen kann, wenn man die Strahlen der Sonne im Brennpunkte eines sphärischen oder parabolischen Hohlspiegels (Fig. 231), oder in dem einer Linse oder eines Systems von Linsen sammelt. Die Resultate, zu denen man bei einigen von diesen Versuchen gelangte, sind in der Encyclopädie von Dalembert und Diderot zusammengestellt, wo es unter anderem heißt:


Fig. 231. Brennspiegel.

„Die berühmtesten Brennspiegel sind in neuerer Zeit von Septala, Villette und Tschirnhausen verfertigt worden. Der Brennspiegel von Manfredus Septala, Domherr von Mailand, war ein parabolischer Spiegel, welcher nach Schot Holzstücke in der Entfernung von 15 bis 16 Schritt entzündete. Der Brennspiegel von Tschirnhausen aber brachte mindestens eben so große Wirkung hervor. Ueber ihn sprechen sich die Leipziger Acta eruditorum folgendermaßen aus:

„Dieser Spiegel entzündet grünes Holz in einem Augenblicke mit solcher Heftigkeit, daß man das Feuer nicht auslöschen kann, wenn man auch noch so stark darauf bläst. Er bringt das Wasser zu so starkem Sieden, daß man in ihm in kurzer Zeit Eier kochen kann; läßt man dagegen das Wasser einige Zeit im Brennpunkte, so verdampft es. Er zerschmilzt in einem Augenblicke eine Mischung von Zinn und Blei von 3 Zoll Dicke: diese Metalle schmelzen anfänglich Tropfen für Tropfen,

dann aber erfolgt ein ununterbrochenes Fließen, und binnen zwei oder drei Minuten ist die Masse vollständig durchlöchert. Stücken von Eisen oder Stahl werden in kurzer Zeit bis zum Glühen erhitzt und bald darauf bilden sich in ihnen durch die Macht der Hitze Löcher. Kupfer, Silber u. s. w. werden ebenfalls flüssig, wenn man sie in den Brennpunkt bringt; andere Stoffe dagegen, die nicht schmelzen können, wie Bruchsteine, Ziegelsteine u. s. w. werden rothglühend wie das Eisen." Im Jahre 1694 wurde in Florenz von der Academie der Wissenschaften ein Diamant im Brennpunkte eines Tschirnhausen'schen Hohlspiegels verbrannt.

Der Tschirnhausen'sche Spiegel hatte drei Leipziger Ellen ($1,69^{m}$) im Durchmesser, und sein Brennpunkt lag in einem Abstande von zwei Ellen ($1,13^{m}$); er bestand aus Kupferblech von geringer Dicke. Ungefähr um dieselbe Zeit verfertigte ein französischer Mechaniker aus Lyon, Namens Villette mehrere große Spiegel, von denen der eine der Academie der Wissenschaften vorgelegt wurde: derselbe hatte die Gestalt eines Kugelabschnittes von 76 Zoll ($2,06^{m}$) Radius, woraus sich die Brennweite gleich 38 Zoll (1,0[illegible] m) ergiebt; seine Oeffnung betrug $1,27^{m}$ und der Stoff, aus dem er verfertigt war, bestand aus einer Legierung von Zinn, Kupfer und Quecksilber. Die Wirkungen, welche man mit ihm erzielen konnte, waren vollständig denen ebenbürtig, welche man mit den oben erwähnten Spiegeln herbei zu führen vermochte. Im Jahre 1757 ließ Bernière einen Hohlspiegel aus Glas, das mit Folie belegt war, von $1,16^{m}$ Oeffnung anfertigen, in dessen Brennpunkte Silber und selbst Eisen binnen wenigen Secunden schmolz, während Kieselsteine weich und schließlich flüssig wurden, als wenn sie aus Glas beständen.

Weiter stellte im vorigen Jahrhunderte Buffon merkwürdige Versuche an, indem er die Sonnenstrahlen dadurch auf einen einzigen Punkt hinlenkte, daß er sie nicht durch einen einzelnen Hohlspiegel, sondern durch eine Reihe von ebenen Spiegeln zurückwerfen ließ, die so aufgestellt waren, daß sie alle die Sonnenstrahlen nach derselben Stelle hinwarfen. Er bildete einen großen Spiegel dadurch, daß er hundert ebene Spiegel zusammensetzte, von denen jeder ungefähr einen halben Quadratfuß Oberfläche hatte; jeder dieser Spiegel trug auf seiner Rückseite drei Schrauben, welche in weniger als einer Viertelstunde leicht so eingestellt werden konnten, daß die Spiegel die Strahlen der Sonne alle

nach demselben Punkte hinwarfen. Mittels dieses zusammengesetzten Spiegels hat Buffon in einem Abstande von 200 Fuß Holz entzündet; bei 140 Fuß Abstand konnte er Blei schmelzen und bei 100 Fuß Entfernung sogar Silber.

Auf diese Weise suchte der berühmte Naturforscher eine alte Hypothese, welche bereits der am byzantinischen Hofe lebende Dichter Tzetzes ausgesprochen hatte, zu bestätigen, daß nämlich Archimedes durch dieses Mittel die römische Flotte vor Syrakus entzündet habe; vor Buffon aber, jedoch ohne daß derselbe etwas davon wußte, hatte Pater Kircher, und in noch viel früherer Zeit Anthemius, der Erbauer der Sophienkirche in Konstantinopel, denselben Versuch angestellt: Letzterer ist also streng genommen als der Erfinder der gegliederten Planspiegel anzusehen.

Doch nicht allein die Reflexion der Wärmestrahlen wußte man zu benutzen um die Temperatur an einzelnen Punkten bedeutend zu erhöhen, sondern dieselben Physiker, welche die Versuche mit den Brennspiegeln im großen Maßstabe anstellten, verfertigten auch Sammellinsen aus Glas von bedeutendem Durchmesser, Brenngläser, welche ebenfalls sehr starke Wirkungen hervorriefen. „Das größte Glas dieser Art, sagt Dalembert in der Encyclopädie, war das von Tschirnhausen angefertigte: die Breite der Linse beträgt zwischen drei und vier Fuß, der Brennpunkt lag in einer Entfernung von zwölf Fuß, und das Glas hatte eine Dicke von ein und einem halben Zoll; um die Concentration der Strahlen im Brennpunkte noch zu erhöhen, läßt man sie noch ein zweites Mal durch eine zweite Sammellinse brechen, die parallel zur ersten in der Entfernung von ihr aufgestellt war, in welcher der Durchmesser des Strahlenkegels, welcher durch die erste Linse gebildet wurde, ebensoviel betrug, als die Breite der zweiten Linse, sodaß von ihr gerade alle Strahlen, die von der ersten Linse gebrochen waren, auch aufgefangen und weiter gesammelt wurden.“ Die Wirkungen, welche mit solchen Linsen hervorgerufen wurden, waren eben so bedeutend wie diejenigen, die derselbe Experimentator mit den Hohlspiegeln erzielt hatte.

Einer der merkwürdigsten Versuche über die Brechung der Wärmestrahlen wurde von Mariotte angestellt: dieser Physiker verfertigte nämlich eine Convexlinse aus einem Stücke Eis, das er durch das Gefrieren von sehr reinem und luftfreiem Wasser erhalten hatte, und entzündete mit deren Hilfe Schießpulver.

Bei den Brenngläsern zeigte sich ein Uebelstand, welcher sie in ihrer Wirksamkeit gegen die Brennspiegel zurückstehen läßt, daß nämlich ein größerer Theil der Wärmestrahlen beim Durchgange durch die Glasmasse von derselben absorbiert wurde, und zwar ist diese Absorbtion in der Mitte der Linse, wo die Dicke am größten ist, auch am bedeutendsten. Um diesen Nachtheil zu beseitigen erfand Buffon die bereits früher bei Gelegenheit der Leuchtthürme ausführlicher besprochene Treppenlinse (Fig. 232), welche später durch Fresnel wesentlich verbessert wurde.

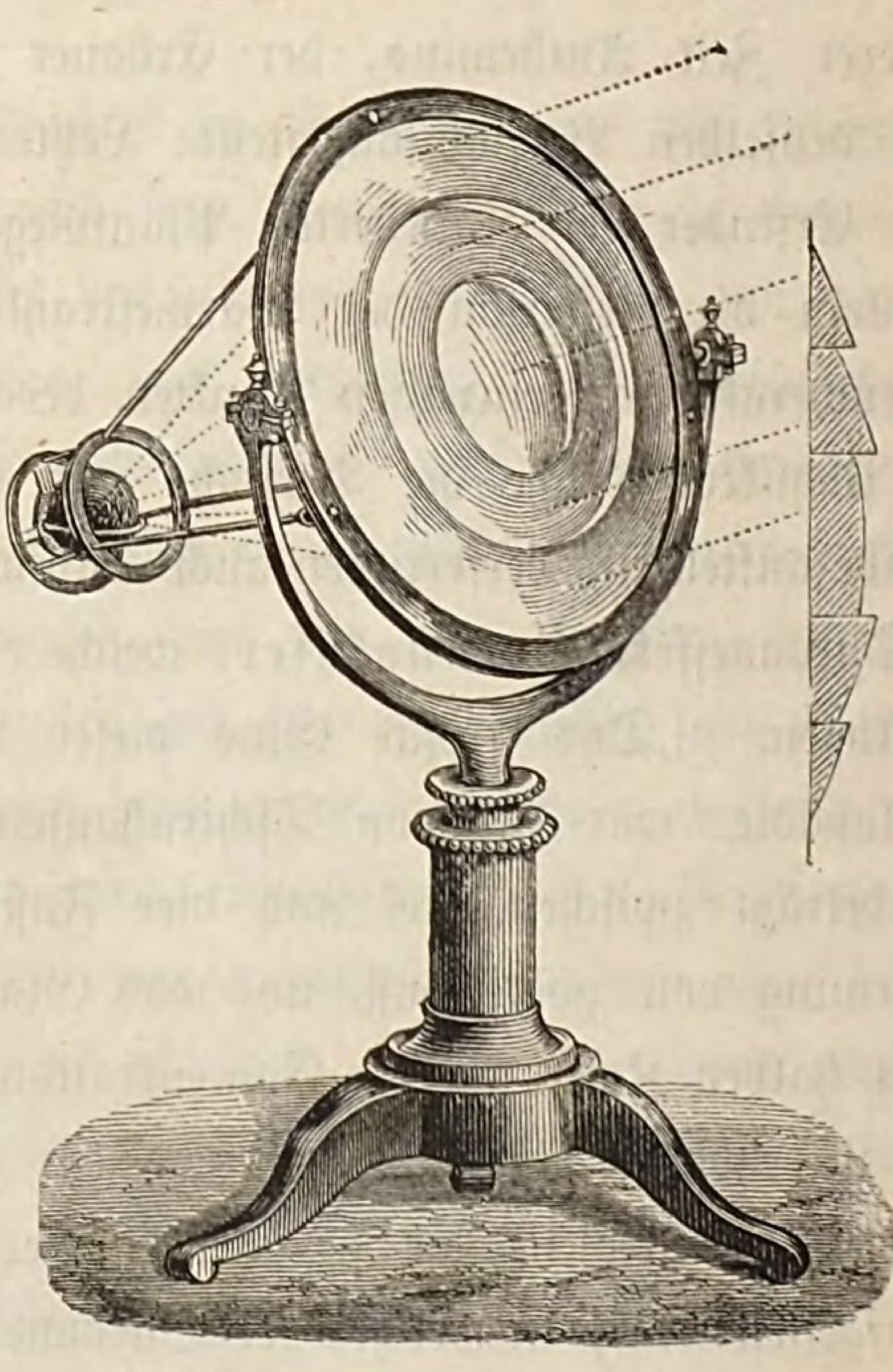


Fig. 232. Brennglas in Form einer Treppenlinse.

Noch wollen wir einer Anwendung Erwähnung thun, die man von den Brennspiegeln oder Brenngläsern gemacht hat, um eine sehr wichtige Frage der physikalischen Astronomie zu entscheiden, die Frage nämlich, ob der Mond, der uns ja das Licht der Sonne in so reichlicher Menge reflectiert, mit den Lichtstrahlen wohl auch zugleich Wärmestrahlen uns zusendet. Zwar gaben die älteren Versuche von Lahire und Tschirnhausen, und auch spätere, die noch in neueren Zeiten angestellt wurden, zunächst verneinende Antwort: als aber im Jahre 1846 Melloni die von ihm erfundene Thermosäule bei den Beobachtungen zu Hilfe nahm,

ergab sich doch, daß wir auch vom Trabanten unserer Erde etwas Wärme empfangen, eine Thatsache, die später durch viele Astronomen, z. B. durch Piazzi Smith, Lord Rosse u. a. bestätigt worden ist.

Drittes Kapitel.

Ausdehnung fester und Verdampfung flüssiger Körper.

§ 1. Das Compensationspendel.

Als wir im ersten Buche von der Anwendung des Pendels zur Regulierung der Uhrwerke sprachen, haben wir erwähnt, daß sich dieser Gebrauch auf das Gesetz gründet, daß Pendel von gleicher Länge immer Schwingungen von gleicher Dauer ausführen, vorausgesetzt daß der Ausschlagswinkel nicht allzugroß ist: der Gang einer Pendeluhr wird also nur so lange ein regelmäßiger bleiben, als sich die Länge des Pendels, d. h. der Abstand zwischen Aufhängepunkt und Schwingungsmittelpunkt nicht ändert. Da nun aber die Länge jedes Körpers mit steigender Temperatur wächst, so wird auch der Gang jeder Uhr, deren Pendel einfach nur aus einer Pendelstange und einer daran befestigten Linse besteht, sich ändern, sobald in der Temperatur eine Aenderung eintritt: wird die Erwärmung eine größere, so dehnt sich die Pendelstange aus, die Schwingungen werden verzögert und die Uhr wird zurückbleiben; in der Kälte aber wird sie aus demselben Grunde schneller gehen, sodaß gewöhnliche Uhren in der Regel im Sommer nachgehen, im Winter aber voreilen.

Um aber diesem Uebelstande, welcher jede Zeitbestimmung und mithin auch jede Beobachtung, bei welcher die Zeit als wesentliches Moment in Rechnung zu ziehen ist, und das gilt vor allen für die astronomischen Beobachtungen, ungenau und unzuverlässig machen würde, möglichst zu beseitigen ist man auf den Ausweg verfallen, daß man das Pendel aus mehreren Metallen, die sich verschieden stark beim Erwärmen ausdehnen, so zusammensetzt, daß der Betrag, um den sich der Schwingungsmittelpunkt durch die Ausdehnung des einen Metalles senken würde, durch ein Heben infolge der Verlängerung des anderen Metalles wieder ausgeglichen wird. Der Fehler, der durch die Ausdehnung des einen

Metalles entstehen würde, wird also durch die Ausdehnung des anderen compensiert, weshalb man alle diese Pendel der verschiedenen Systeme als Compensationspendel bezeichnet.

Die weiteste Verbreitung unter den Compensationspendeln hat wohl das Rostpendel (Fig. 233) gefunden, das auch unter allen zuerst durch Harrison, einen einfachen englischen Schiffszimmermann, erfunden worden

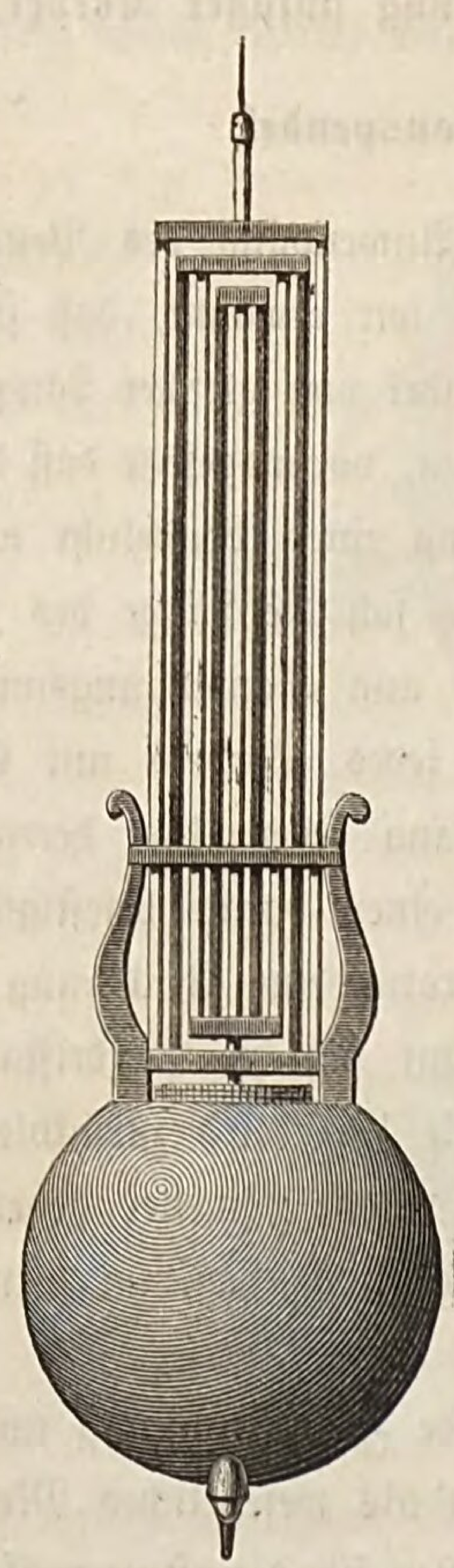


Fig. 233. Rostpendel von Harrison.

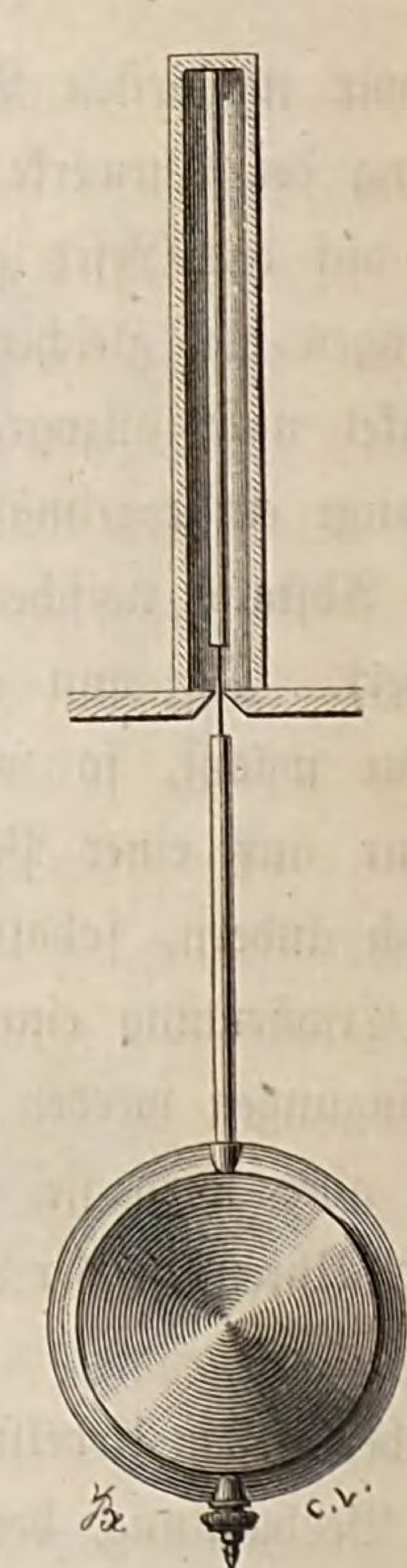


Fig. 234. Compensationspendel von Leroy.

ist. Die Stange dieses Pendels besteht aus einer Reihe von Stäben, die abwechselnd aus Stahl und aus Messing verfertigt, an ihren Enden durch Querriegel mit einander verbunden und so angeordnet sind, daß die Ausdehnung der Stahlstäbe die Linse senken, die der Messingstäbe, welche unten auf den Querriegeln aufsitzen, sie wieder heben würde. Der mittelste Stab, welcher die Linse trägt, besteht aus Stahl und geht frei

durch Oeffnungen hindurch, welche in den Querriegeln angebracht sind. Die Längen der Paare von Metallstäben müssen nach den Ausdehnungscoefficienten des Stahles und des Messings so berechnet werden, daß bei jeder Temperatur die Summe der Verlängerungen aller Stahlstäbe so groß ist, als die Summe der Verlängerungen der Messingstäbe; selbstverständlich muß der Stahlstab, welcher vom Aufhängungspunkte bis zum ersten Querriegel reicht, wie auch derjenige, der die Linse trägt, mit in Rechnung gezogen werden. Diese Rechnung giebt jedoch nur eine erste Annäherung für die Compensation, weil bei einem zusammengesetzten Pendel der Schwingungsmittelpunkt weder mit dem Schwerpunkte der Linse, noch mit dem des ganzen Apparates zusammenfällt; deshalb ist unterhalb der Linse noch eine Schraube angebracht, durch welche sich dieser Ausgleich vollständig regulieren läßt, wenn man den Gang der Uhr längere Zeit beobachtet.

Bei dem Compensationspendel von Leroy (Fig. 234) erhebt sich über einer festen Platte eine Röhre aus Messing, die in ihrem Inneren einen Stahlstab trägt; von diesem Stab hängt ein schmaler Stahlstreifen herab, welcher durch einen Spalt in der festen Platte hindurch geht, dessen Ränder ziemlich scharf sind, sodaß nur der untere freie Theil des Stahlstreifens schwingen kann. An diesem Streifen ist endlich die eigentliche Pendelstange, welche die Linse trägt, befestigt. Beim Erwärmen dehnt sich die Messingröhre aus und hebt dabei das ganze Pendel, dessen Länge erst von dem Spalte in der Querplatte gerechnet werden darf, in die Höhe; gleichzeitig aber dehnt sich auch der Stahlstab und die Pendelstange aus, wodurch die Linse des Pendels sich wieder senkt. Auch hier wird, wie überhaupt bei allen Compensationspendeln, die genauere Regulierung durch Schrauben bewirkt.

Noch wollen wir zwei andere Systeme erwähnen, nämlich den Compensator von Brocot (Fig. 235) und den Compensator von Graham (Fig. 236), welcher letztere vielleicht die Compensation am vollkommensten reguliert. Bei dem zuerst genannten trägt die Pendelstange f, an der die Linse befestigt ist, in ihrem oberen Theile einen Querriegel, von dem zwei Messingstangen c herabhängen, die sich selbständig und frei von der eigentlichen Pendelstange ausdehnen können. Diese Stangen stützen sich mit ihren unteren Enden auf zwei Hebel a, die an einem Ringe r befestigt sind, der an der Pendelstange selbst fest-

sitzt; andererseits drücken diese kleinen Hebel gegen zwei Knöpfe t der Linse und heben letztere, sobald die beiden Messingstangen sich verlängern und die Hebel a herabdrücken. Auf diese Weise wird die Verlängerung der Pendelstange durch dieses Heben der Linse compensiert.

Beim Compensator von Graham dagegen trägt die Pendelstange an ihrem unteren Ende eine Querplatte, auf der ein oder zwei Glascylinder

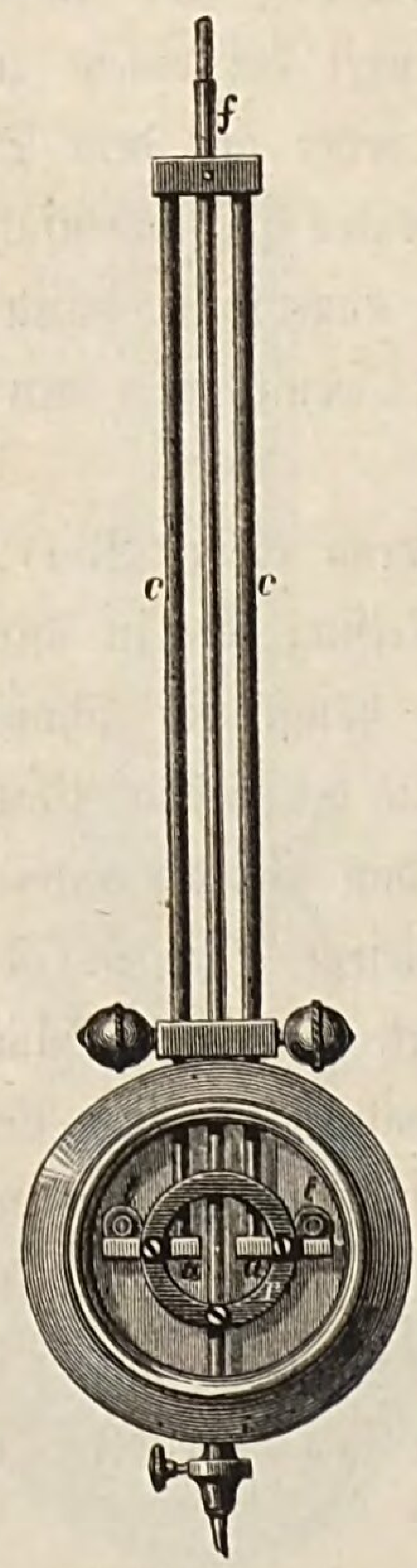


Fig. 235. Compensator nach Brocot.

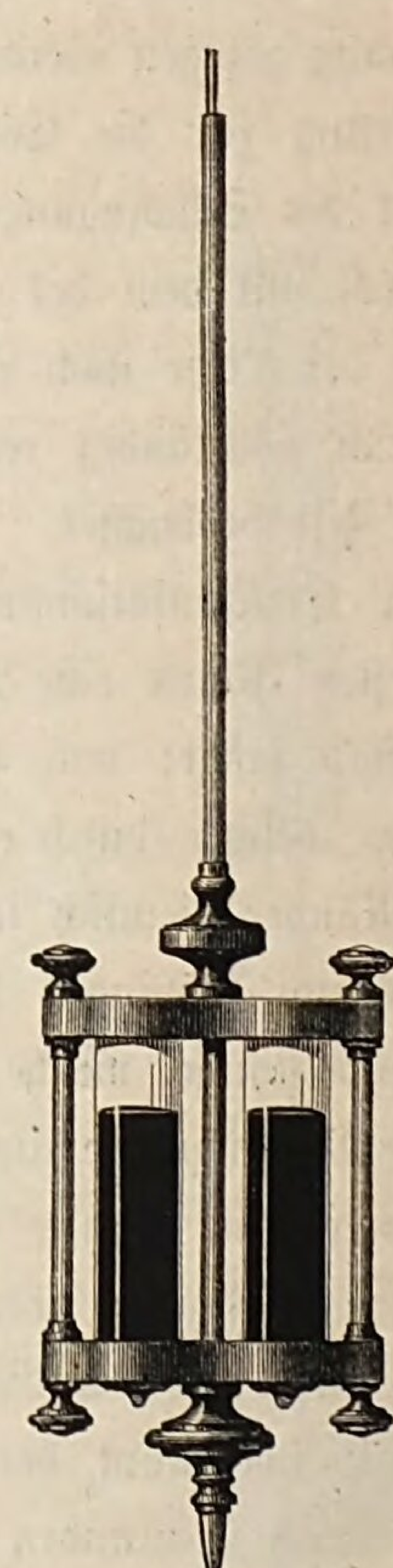


Fig. 236. Compensator nach Graham.

aufsitzen, die zum Theil mit Quecksilber gefüllt sind: diese Flüssigkeit besitzt nämlich einen Ausdehnungscoefficienten, der den der festen Metalle weit übersteigt, sodaß die Ausdehnung der Pendelstange trotz der Länge derselben durch die Erhöhung des Quecksilberspiegels vollständig ausgeglichen werden kann. Graham selbst nahm als Pendelstange einen Glasstab, jetzt fertigt man dieselbe aber ebenfalls gewöhnlich aus Stahl. Daß man bei der Berechnung dieses Pendels auch die Ausdehnung der Glas-

gefäße mit in Rechnung ziehen muß, ist selbstverständlich: die Regulierung kann bei ihm in viel vollkommenerem Grade ausgeführt werden, als bei allen anderen Pendeln, und zwar geschieht dieselbe einestheils durch Heben und Senken der Gefäße mittels Schrauben, andererseits durch Nachfüllen oder Ausfüllen einer bestimmten Menge Quecksilber.

In ähnlicher Weise, wie man den Einfluß der Temperaturänderungen bei denjenigen Uhren beseitigen kann, deren Gang durch Pendel reguliert wird, lassen sich entsprechende Einrichtungen auch bei den Uhren anbringen, welche die Form einer Dose besitzen und als Regulatoren kleine Metallräder tragen, die durch eine Spiralfeder immer wieder in ihre Mittellage zurückgeführt werden (Fig. 237). Wie wir im ersten Buche erwähnten, wird dieses kleine Rad als die Unruhe der Uhr bezeichnet, und von seinen Dimensionen ist die Regelmäßigkeit im Gange der Uhr abhängig; wenn also durch eine Erhöhung der Temperatur die Dimensionen dieses Rades sich vergrößern, so wird die Spiralfeder nicht mehr im Stande sein, dasselbe mit gleicher Geschwindigkeit hin und her zu bewegen und die Uhr wird in Folge dessen nachgehen: das Zusammenziehen durch die Kälte wird dagegen ein Voranseilen bewirken. Um dies auszugleichen, bringt man am Umfange des Rades Platten an, die aus zwei Streifen von verschiedenen Metallen zusammengesetzt sind, und zwar befestigt man dieselben so, daß dasjenige Metall, welches sich in der Wärme stärker ausdehnt, nach Außen zu liegen kommt; am Ende dieser schmalen Platten befinden sich kleine Metallknöpfe, deren Stellung durch Schrauben reguliert werden kann. Steigt die Temperatur, und dehnt sich dadurch das Rad aus, so krümmen sich diese Platten andererseits stärker nach Innen, die Knöpfe nähern sich der Drehungsaxe und compensieren die Wirkung jener Ausdehnung. Alle sorgfältig gearbeiteten Uhren, bei denen Compensationsvorrichtungen getroffen sind, nennt man Chronometer, die der zuletzt besprochenen Art aber bezeichnet man als Taschenchronometer.

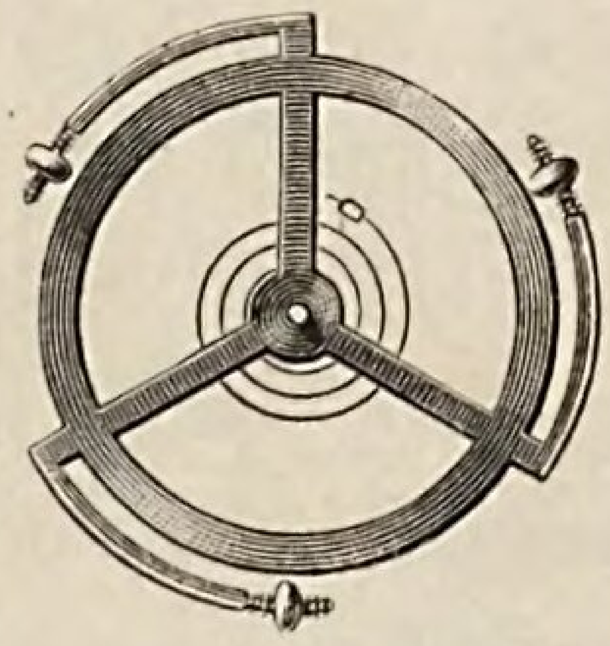


Fig. 237. Compensation bei einem Taschenchronometer.

§ 2. Die Destillation.

Will man eine Flüssigkeit von fremden Stoffen, die in ihr aufgelöst sind, scheiden, oder will man zwei Flüssigkeiten, welche miteinander gemischt sind, von einander trennen, so wendet man ein Verfahren an, welches man im Allgemeinen mit dem Namen der Destillation bezeichnet, und welches in der Hauptsache darin besteht, daß man die Flüssigkeit durch Erhitzen in Dampf verwandelt und daß man die Dämpfe in kälteren Gefäßen auffängt, wo sie sich verdichten. Enthält die Flüssigkeit fremde Bestandtheile, wie z. B. Salze, die in ihr aufgelöst sind, wie

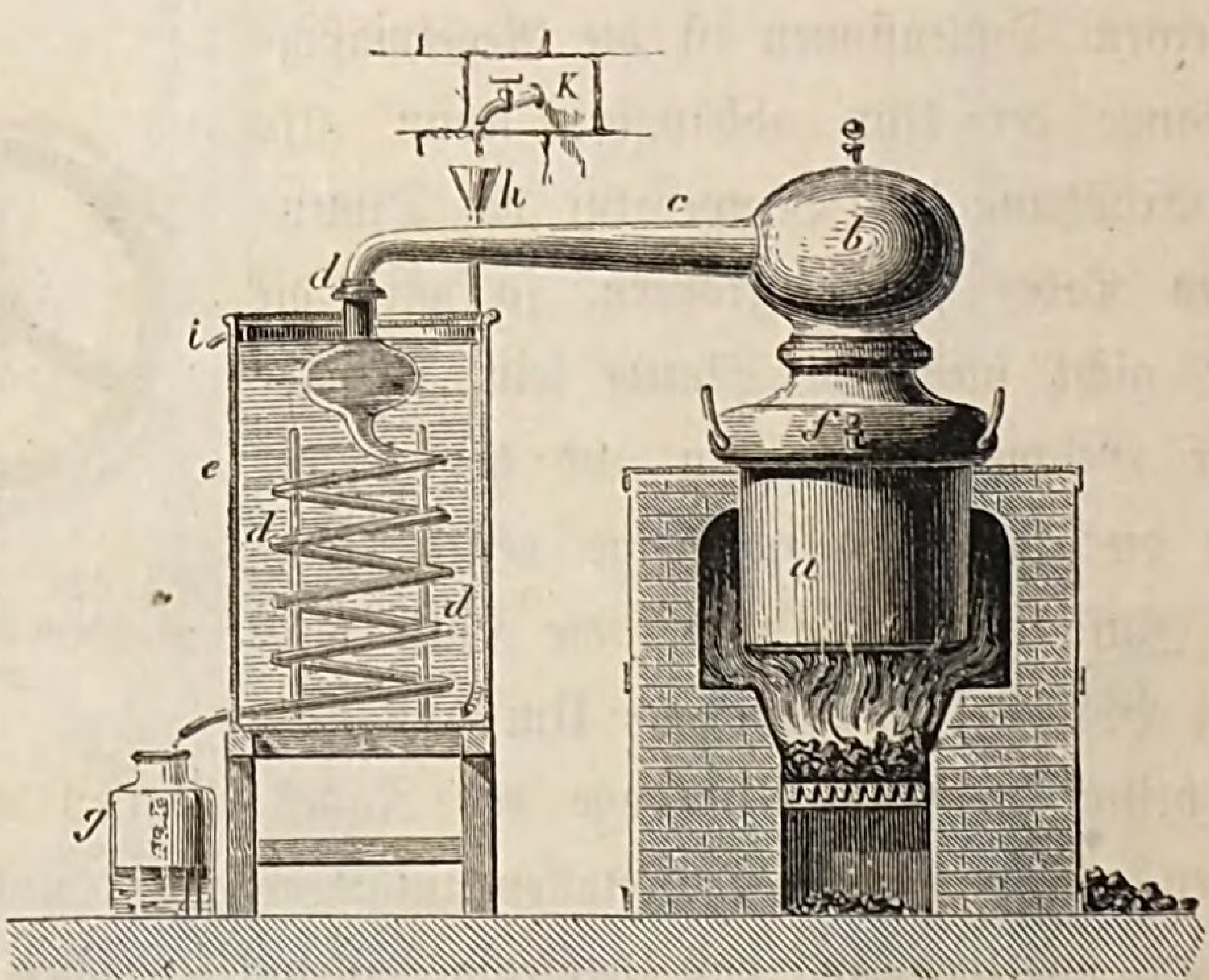


Fig. 238. Destillierblase.

dies fast stets bei allen Gewässern der Fall ist, die wir in der Natur vorfinden, so verwandeln sich die wässerigen Bestandtheile allein in Dampf, während die fremden Stoffe am Boden des Gefäßes liegen bleiben, und damit ist bereits die Scheidung erfolgt. Sind dagegen mehrere Flüssigkeiten mit einander gemischt, so kann durch das Sieden auch deren vollständige oder wenigstens theilweise Trennung bewirkt werden und zwar geschieht dies deshalb, weil das Sieden der verschiedenen Flüssigkeiten auch bei verschiedenen Temperaturen geschieht und weil sich infolge dessen die eine Flüssigkeit zeitiger in Dampf verwandeln muß als die andere. Da diese Operationen gewöhnlich den Zweck haben, daß man die eine oder

andere Flüssigkeit in möglichster Reinheit gewinnt, so muß auf das Verdampfen noch ein weiteres zweites Verfahren erfolgen: die gewonnenen Dämpfe müssen nämlich wieder in die tropfbar flüssige Form zurückgeführt werden, was einfach durch Abkühlen derselben geschieht.

Das Verfahren der Destillation ist schon in ziemlich frühen Zeiten bekannt gewesen und noch jetzt kommen bei demselben immer nur die gleichen physikalischen Principien zur Anwendung, wenn auch die Apparate in späteren Zeiten vielfach verbessert worden sind. Man bedient sich dabei der sogenannten Destillierblase oder Abziehblase (Fig. 238), welche aus einem Dampfkessel, dem Destillierkolben a besteht, auf welchen eine Retorte bc aufgesetzt ist, die man den Helm nennt; dieser Helm mündet bei d in ein mehrfach gewundenes Rohr, das Schlangenrohr oder Kühlrohr, welches in einen Behälter e eingeschlossen ist, der kaltes Wasser enthält und Kühlschiff heißt. Man füllt die Flüssigkeit, welche verdampft werden soll, in den Destillierkolben, setzt den Helm auf und erhitzt: die entweichenden Dämpfe verdichten sich im Schlangenrohre und die aus ihnen sich bildende Flüssigkeit fließt nach dem untergesetzten Gefäße g ab. Bei dieser Condensation geben aber die Dämpfe beständig eine große Menge von Wärme an das Wasser im Kühlschiffe ab, sodaß sich dasselbe sehr bald so stark erwärmen würde, daß es die weitere Condensation der Dämpfe nicht mehr bewirken könnte: um dies zu verhindern, läßt man beständig aus einem Hahne k durch einen Trichter h kaltes Wasser in das Kühlschiff einfließen, während das warme Wasser durch ein Ansatzrohr i abläuft. In solch einfacher Weise sind die Apparate eingerichtet, durch welche man sich destilliertes Wasser verschafft, und auch die Apparate, durch welche man versucht hat, das Wasser des Meeres trinkbar zu machen, sind im Ganzen nicht wesentlich anders eingerichtet: etwas complicierter dagegen sind die Vorrichtungen, durch welche man Flüssigkeiten von einander trennt, welche in verschiedenem Grade flüchtig sind, also besonders die Apparate, die zur Gewinnung des Alkohols dienen.

Wenn es gilt, eine Mischung von zwei Flüssigkeiten, die in verschiedenem Grade flüchtig sind, von einander zu trennen, wenn es z. B. gilt, den Alkohol aus den Stoffen, welche in die sogenannte geistige Gährung übergegangen sind, z. B. aus der Meische, die aus dem Getreide bereitet wird, zu gewinnen, so wendet man in der Regel viel

complicirtere Destillationsapparate an. Zwar kann man auch mittels der gewöhnlichen Abziehblase die verlangte Flüssigkeit bis zu einem gewissen Grade der Reinheit herstellen, wenn man das Verfahren der Destillation mehrfach wiederholt: allein die Flüssigkeit, also z. B. der Alkohol, behält dabei leicht einen brenzlichen Geruch und Geschmack, und es ist deshalb immer vorzuziehen, daß man die Herstellung durch andere, vollkommenere Apparate bewirkt, wie z. B. durch den Destillationsapparat von Laugier, der in Fig. 239 abgebildet ist.

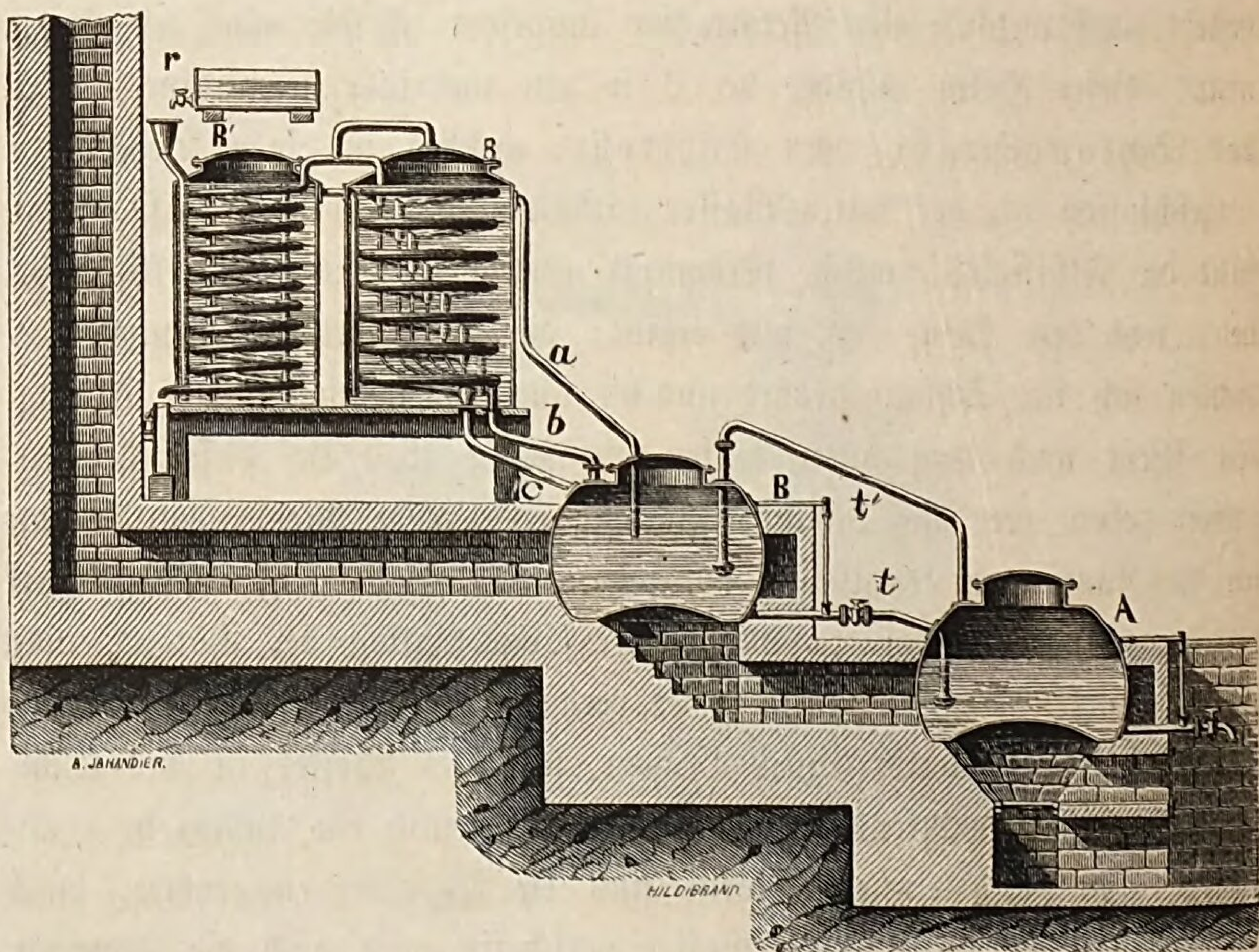


Fig. 239. Destillationsapparat für Alkohol nach Laugier.

Wir sehen zunächst einen Dampfkessel A, welcher direct durch das Feuer erhitzt wird, weiter hin aber einen zweiten Kessel B, dessen Erwärmung durch die Gase bewirkt wird, die vom Feuer aufsteigen, sodaß die Wärme derselben ebenfalls ausgenutzt wird. Weiter sehen wir zwei Kühlgefäße, R und R′, welche die Schlangenrohre umschließen, in denen die Condensation der Dämpfe erfolgt, welche von der zu destillierenden Flüssigkeit aufsteigen. Mit dieser Flüssigkeit sind alle Theile des Apparates, die Kessel eben so gut wie die Kühlgefäße angefüllt: dieselbe wird

nämlich zunächst in das Kühlgefäß R' gefüllt, aus welchem sie durch ein Ausflußrohr nach R hinüberfließt; von dort aus gelangt sie durch ein zweites Rohr a in den Kessel B, und aus diesem endlich durch ein Rohr t in den Kessel A. Der Dampf, welcher sich nun beim Erhitzen in letzterem entwickelt, verfolgt den gerade umgekehrten Weg: er steigt durch die Röhre t' in den Kessel B und gelangt von hier aus durch das Leitungsrohr b in ein Schlangenrohr, in welchem er sich zum Theil verdichtet. Die Flüssigkeit, die sich durch die Verdichtung bildet, kehrt durch das Rohr c, das alle Windungen der Schlange unter sich verbindet, wieder nach B zurück, während der nicht verdichtete Dampf weiter in die Schlangenwindungen entweicht, die sich in R' befinden, wo er sich ebenfalls verdichtet, um schließlich aus dem Ende dieser Röhren als Alkohol abzufließen.

Will man den Apparat in Gang setzen, so füllt man mit der zu destillierenden Flüssigkeit, z. B. mit der Meischen, die beiden Kühlgefäße und weiter den Kessel B, letzteren bis zu dem Siebe, das die in ihn eintauchende Röhre abschließt; endlich läßt man die Flüssigkeit auch in den Kessel A hinüberlaufen, bis derselbe zu drei Viertel gefüllt ist, und erhitzt. Während nun die Dampftheile, die reich an Alkohol sind, nach dem Schlangenrohre hin entweichen, kehren die wässrigen Theile nach B zurück, sodaß das Niveau der Flüssigkeit in B wächst, während dasselbe in A sinkt. Wenn in letzterem Gefäße die Flüssigkeit bis auf etwa ihren vierten Theil herabgesunken ist, so öffnet man den Ablaßhahn und läßt durch denselben den Rückstand, den man in den Brennereien gewöhnlich als Schlempe bezeichnet, abfließen. Hierauf öffnet man den Hahn in der Röhre t, sodaß die Flüssigkeit, die sich in B gesammelt hat, nach A überfließen kann, und gleichzeitig läßt man auch beständig durch den Hahn r immer von Neuem Meische nachfließen; hat sich B wieder gefüllt und A geleert, so verfährt man wieder auf gleiche Weise, sodaß die Operationen keine Unterbrechungen zu erleiden brauchen.

Eine ähnliche Einrichtung besitzen alle Destillationsapparate für Alkohol, und wir wollen deshalb nur noch einen in England sehr verbreiteten Apparat besprechen, der sich dadurch auszeichnet, daß er ziemlich große Mengen von Alkohol liefert, nämlich den Destillationsapparat von Coffey, der in Figur 240 dargestellt ist. Wir sehen

zunächst einen Behälter H, in welchem sich die kalte Meische befindet, welche durch ein Seitenrohr zu einer Pumpe hinüberfließt, durch die sie in ein Rohr befördert wird, das in vielen Schlangenwindungen ein aufrechtstehendes Gefäß, den Rectificator, durchzieht. Durch eine Abzweigung, die sich oberhalb der Pumpe befindet und die gewöhnlich durch einen Hahn geschlossen ist, kann ein etwaiger Ueberschuß an Meische wieder in den Behälter H zurückbefördert werden. Das Ende des

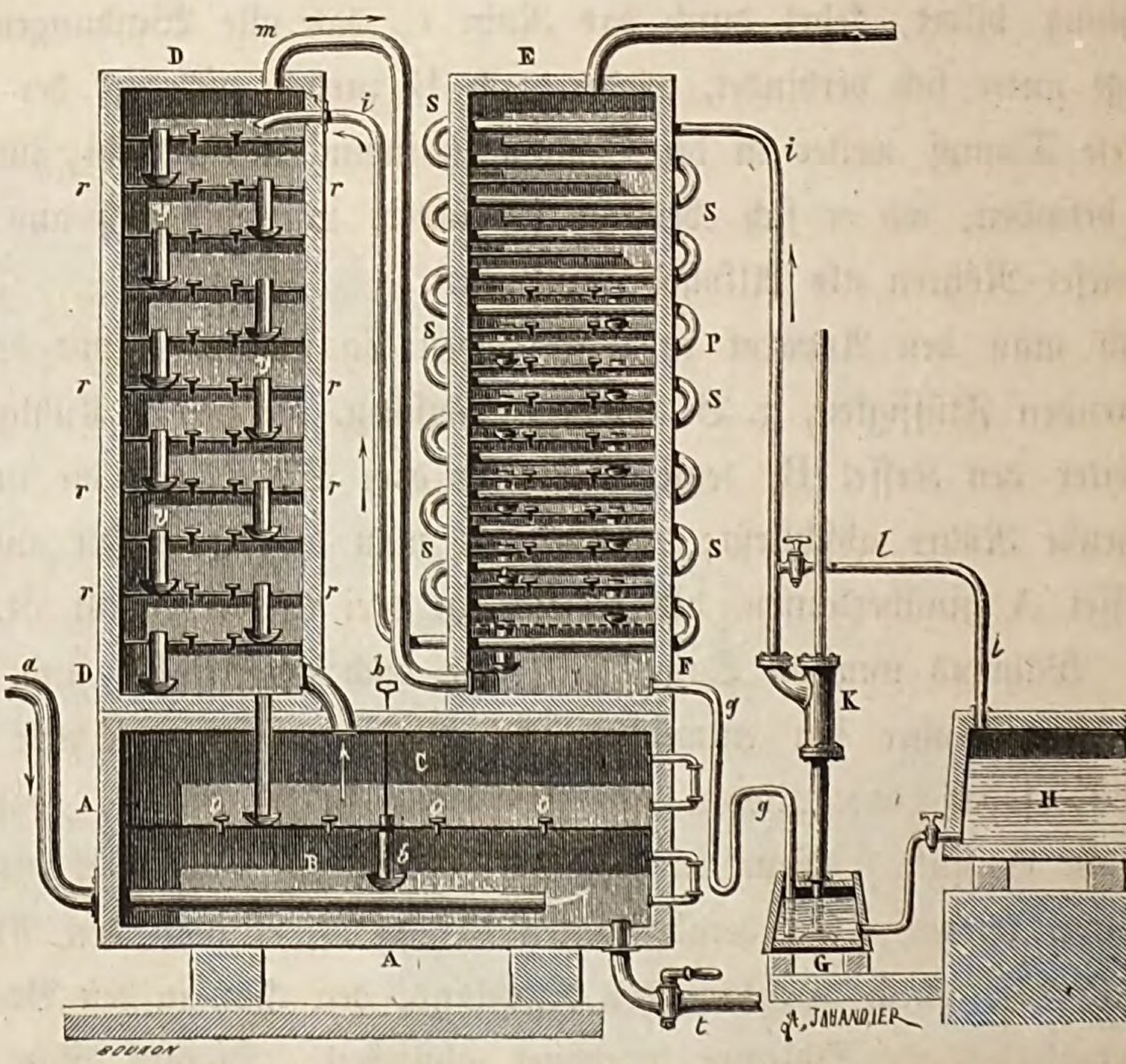


Fig. 240. Destillationsapparat für Alkohol von Coffey.

Schlangenrohres krümmt sich nach Oben und mündet in ein zweites aufrechtstehendes Gefäß, den Abscheider (auf der linken Seite der Abbildung), das durch Metallboden in einzelne Abtheilungen zerfällt. In jeder dieser Metallplatten sind eine Anzahl kleiner Löcher angebracht, die so fein sind, daß von Unten her zwar Luft und Dampf durch sie hindurch dringen kann, daß aber die Meische nicht durch sie hindurchfließt. Durch jede Platte geht ein Rohr v, welches mit seinem oberen Rande etwas über die Platte hinaufragt, mit seinem unteren Ende aber bis nahe an die nächste Platte heranreicht, sodaß, wenn die Meische auf der Platte bis an das obere Ende des Rohres heranreicht, der Ueber-

schuß nach der nächsten Platte hin abfließen kann. Damit die Dämpfe nicht von Unten her durch diese Rohre aufsteigen können, ist jedes derselben in eine flache Schüssel eingesetzt. Ebensolche Zwischenboden befinden sich auch in dem anderen cylindrischen Gefäße, in dem das Schlangenrohr verläuft, sodaß jede Windung desselben in einer besonderen Abtheilung eingeschlossen ist. Unter dem Rectificator und dem Abscheider liegt ein weiteres Gefäß, welches durch einen ebenfalls durchlöcherten Boden in zwei Abtheilungen C und B getheilt wird; in diesem Boden befinden sich bei o Ventile, die sich nach Oben öffnen, wenn der Dampfdruck zu beträchtlich wird, und ähnliche Ventile sind auch in den Metallplatten angebracht, welche den Rectificator und den Abscheider in einzelne Abtheilungen theilen. Aus der Abtheilung C führt ein Rohr b in die Abtheilung B, welches aber für gewöhnlich geschlossen ist, von Außen aber durch einen Handgriff geöffnet werden kann; in B endlich mündet ein Rohr, das aus einem Dampfkessel herübergeleitet ist, und durch welches heiße Wasserdämpfe einströmen.

Wenn das Schlangenrohr mit Meische gefüllt ist, und wenn auch die Zwischenplatten im Abscheider mit derselben Flüssigkeit bedeckt sind, so läßt man den Dampf in die Abtheilung B einströmen; derselbe durchdringt die Scheidewand nach C und steigt durch ein gekrümmtes Rohr in den Abscheider. Indem er hier die feinen Oeffnungen in den Metallplatten durchdringt, kommt er mit der Meische an so vielen Punkten in Berührung, daß er derselben allen Alkohol entzieht. So mit Alkohol gesättigt fließt er aus dem oberen Theile des Abscheiders in den unteren Theil des Rectificators, wo er zwischen den Schlangenrohren aufsteigt und seine Wärme an diese abgiebt. Dabei verdichtet sich zunächst das Wasser, welches durch ein gekrümmtes Rohr nach der Pumpe hin abfließt, in den oberen Abtheilungen aber auch der Alkohol, den man schließlich durch ein Seitenrohr, das ungefähr in der Höhe von S angebracht ist, ausfließen läßt. Ist die Meische im Schlangenrohre zu stark erwärmt, was man an den Rohrtheilen fühlen kann, welche seitwärts heraustreten, so treibt man dieselbe dadurch, daß man die Pumpe in Gang setzt, weiter; die von Alkohol freie Meische oder die Schlempe sammelt sich in C, von wo aus man sie durch Oeffnen des Ventils b nach B, und von dort aus schließlich durch einen Hahn abfließen läßt. Auf dem Rectificator ist endlich noch ein Rohr aufgesetzt, durch das die trocknen Gase, nämlich

Kohlensäure und atmosphärische Luft entweichen. Um eine Vorstellung von der Ausdehnung der Coffey'schen Apparate zu geben, wollen wir nur erwähnen, daß Currie in Bow bei London mittels eines solchen jährlich mehr als 4675000 Liter Alkohol von 65° durch die Destillation von gegohrener Würze von Gerste und Hafer mit Hinzufügung von Malz herstellt. Dieses Haus allein zahlt dem Staate jährlich mehr als 400000 Lst. Abgaben.

§ 3. Verdunstung des Wassers.

Ein großer Theil des Salzes, welches theils für den Gebrauch in der Küche, hauptsächlich aber für industrielle Zwecke erforderlich ist, entstammt den Gewässern des Meeres, in denen es ungefähr den 40. bis 37. Theil der ganzen Masse bildet. Man gewinnt es aus ihnen dadurch, daß man das Wasser in breite Behälter von geringer Tiefe leitet und es darin an der freien Luft verdampfen läßt: dabei concentriert sich das Meerwasser immer stärker und schließlich lagert sich das Salz am Grunde der Behälter in Form von Krystallen ab oder bedeckt den Boden der Vertiefungen in Form einer dünnen festen Schicht. Die Verdunstung tritt ein infolge der Erwärmung, welche durch die Sonnenstrahlen bewirkt wird, durch den Wind aber wird sie wesentlich gefördert: deshalb erfolgt auch die Gewinnung des Salzes in jenen Behältern, welche man auch Salzteiche nennt, hauptsächlich während des Sommers. Das Salz dieser Teiche wird in Haufen aufgeschichtet, welche man eine bestimmte Zeit lang den Einwirkungen der Luft aussetzt, damit sich die zerfließenden Bestandtheile, welche ihm beigemengt sind, auflösen können: ist das Salz auf solche Weise entwässert, so kommt es als Seesalz oder Boysalz in den Handel.

Weiter gewinnt man das Salz aber auch aus den Gewässern salzhaltiger Quellen, und zwar ebenfalls dadurch, daß man das Wasser verdampft; allein da diese Gewässer das Salz gewöhnlich nur in geringer Menge enthalten, so läßt man zunächst einen Theil des Wassers durch Verdunstung an freier Luft entweichen und hierauf erst bringt man die schon etwas verdickte Lösung, welche Soole heißt, in die Siedepfannen, wo man sie so lange erhitzt, bis sich das Salz in Form von regelmäßigen Krystallen am Boden absetzt. Die Verdunstung der salz-

haltigen Gewässer erfolgt in dieser Weise: man schichtet in einem Gerüste, welches über dem Behälter errichtet ist, in dem man das Wasser auffangen will, eine Menge Reisigbündel übereinander (Fig. 241) und läßt das Wasser aus zwei langen Behältern A B und C D durch Seitenrohre a auf das Reisigholz fließen. Diese Bauwerke, welche man Gradierhäuser nennt und welche man in der Nähe jedes Salzwerkes sehen kann, werden so errichtet, daß ihre Längsrichtung zu der Richtung,

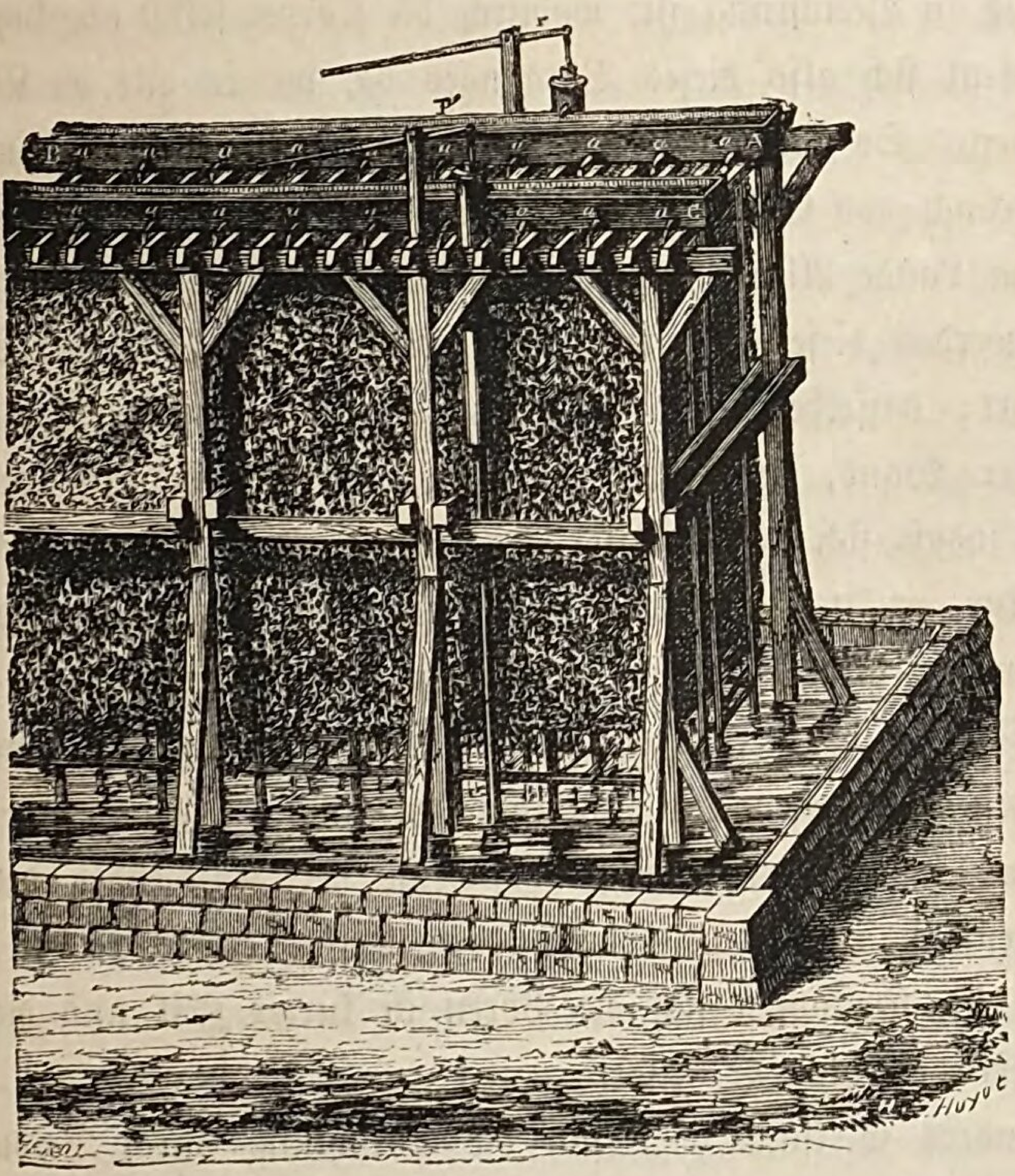


Fig. 241. Gradierhaus.

in welcher gewöhnlich der Wind weht, rechtwinklig ist, damit der Wind recht bequem durch die Reisigbündel hindurchstreifen kann. Während also das Wasser von einem Ast des Reisigs zum anderen tropft, wird es durch die hindurch strömende Luft ziemlich schnell in Dampf verwandelt, sodaß schon das Wasser, welches nur einmal über die Reisigbündel geflossen ist, das Salz in stärkerer Concentration erhält, als das Wasser der Quelle. Durch Pumpen P P′ wird das abgeflossene Wasser ein zweites und ein drittes Mal in die Behälter A B und C D wieder

hinaufgehoben und durchfließt von Neuem die Reisigbündel, bis es den erforderlichen Grad von Concentration erlangt hat.

In dem vorstehenden Falle läßt man das Wasser zu dem Zwecke verdunsten, damit die in ihm gelösten Stoffe als Rückstände gewonnen werden können: allein die Verdunstung des Wassers bringt noch eine andere Wirkung hervor, welche man ebenfalls nutzbar gemacht hat. Das Wasser bedarf nämlich, wenn es sich in Dampf verwandeln soll, einer nicht unbedeutenden Menge Wärme, die es den Körpern entnimmt, mit welchen es in Berührung ist, wodurch die Körper selbst abgekühlt werden: man bedient sich also dieses Vorganges da, wo es gilt die Körper kühl zu erhalten. So findet man in südlichen Ländern, besonders in Spanien, den Gebrauch von Gefäßen aus schwach gebranntem Thone, die in letztgenanntem Lande Alcarrazas genannt werden, weit verbreitet und auch zu uns werden dieselben öfters gebracht: in ihnen wird das Trinkwasser aufbewahrt; dasselbe sickert in Form von kleinen Tropfen durch die Poren der Wand, verdunstet dort und entzieht dadurch dem Gefäße Wärme, sodaß sich das Wasser im Innern stets auf ziemlich niedriger Temperatur erhält. Da die Verdunstung am schnellsten erfolgt, wenn die Wärme ziemlich groß und die Luft sehr trocken ist, so zeigen sich diese Gefäße in dem Falle besonders wirksam, wenn die durch sie herbeigeführten Wirkungen am erwünschtesten sind. Diese Gefäße sind aber nur dann längere Zeit brauchbar, wenn der Kalkgehalt des Wassers nicht bedeutend ist: denn sobald das Wasser etwas reicher an jenem Minerale ist, verstopfen sich die Poren in kurzer Zeit und die Wirkung des Gefäßes erreicht ihr Ende.

Besonders wirksam zeigt sich die Abkühlung durch Verdunstung in klaren Nächten: dieselbe erreicht dann einen solchen Grad, daß sich die Feuchtigkeit der Luft in Form von kleinen Tropfen niederschlägt, welche sich an die Körper anhängen, die die Oberfläche der Erde bedecken und dort den Thau bilden, welche aber bei noch stärkerer Kälte zu Eiskrystallen erstarren und so die Erscheinung des Reifes oder Rauchfrostes hervorrufen. In den heißen Ländern, in welchen sich die Temperatur niemals so weit erniedrigt, daß sich auf den Gewässern eine Eisdecke bildet, sucht man durch Benutzung der Verdunstungskälte sich das besonders in jenen Gegenden so kostbare Eis zu verschaffen. In welcher Weise z. B. in Bengalen diese Eisbereitung ausgeführt wird, läßt sich aus folgender

Beschreibung ersehen, die wir Tyndalls Buche über die Wärme (S. 572 der deutschen Ausgabe) entnehmen:

„Wells war der Erste, der die künstliche Bildung von Eis in Bengalen erklärte, wo diese Substanz sonst niemals von der Natur gebildet wird. Es werden flache Gruben gegraben, die zum Theil mit Stroh angefüllt werden und auf dem Stroh werden flache, mit Wasser gefüllte Pfannen dem klaren Himmel ausgesetzt. Das Wasser ist ein kräftig strahlender Körper und strahlt seine Wärme reichlich in dem Raume aus. Die so verlorene Wärme kann durch die Erde nicht ersetzt werden — diese Wärmequelle ist durch das nichtleitende Stroh abgeschnitten. Vor Sonnenaufgang hat sich ein Eiskuchen in jedem Gefäß gebildet. Das ist die Erklärung von Wells, die ohne Zweifel die richtige ist, indeß meiner Meinung nach noch einiger Zusätze bedarf. Man könnte nach der Beschreibung meinen, daß die für die Eisbildung nothwendigste Bedingung nicht nur klare Luft, sondern trockene Luft ist. Diejenigen Nächte, sagt Sir Robert Barker, sind für die Bildung des Eises die günstigsten, die am klarsten und heitersten sind und in denen sehr wenig Thau nach Mitternacht fällt. Ich habe diesen sehr bedeutungsvollen Satz besonders hervorgehoben. Um Eis reichlich zu bilden, muß die Atmosphäre nicht nur klar, sondern auch verhältnißmäßig frei von Wasserdampf sein. Sowie das Stroh, auf dem die Pfannen lagen, feucht wurde, wurde es immer mit trockenem Stroh vertauscht. Der Grund, den Wells dafür angab, war, daß das Stroh durch das Feuchtwerden compacter und wirksamer als Leiter wurde. Dies mag der Fall sein, aber sicher ist außerdem, daß der Dampf, der vom feuchten Stroh aufsteigt und sich über die Pfannen wie ein Schirm ausbreitet, die Abkühlung aufhalten und das Gefrieren verzögern würde."

§ 4. Künstliche Eisbereitung.

Je weiter die Cultur fortschreitet, in um so höherem Maße steigt auch die Verwendung des Eises, jenes Stoffes, den unser Winter gewöhnlich in ausgiebiger Menge liefert, dessen Aufbewahrung für den Sommer aber, also für die Zeit, in welcher wir ihn hauptsächlich gebrauchen, immer mit gewissen Schwierigkeiten verbunden ist. Nicht allein, daß man das Eis für die Kühlung von Getränken aller Art verwendet,

daß man mit seiner Hilfe die Nahrungsmittel möglichst vor dem Verderben schützt und daß zu diesem Behufe die Speiseschränke, deren hohle Wände mit Eisstücken angefüllt sind, immer mehr in Aufnahme kommen: auch die Medicin verwendet jetzt das Eis in immer größeren Mengen um die nöthige Kühlung bei fieberhaften Zuständen oder bei Verwundungen herbeizuführen, und auch bei manchen industriellen Operationen steigt der Bedarf an jenem Material. Ist nun der Winter in dieser Beziehung nicht günstig gewesen, war er nämlich zu gelind und hielt die Kälte nur zu kurze Zeit an, so reicht das von unsern Flüssen und Seen geerntete Eis nicht aus um die Bedürfnisse zu decken und man sah sich deshalb vielfach genöthigt die erforderlichen Mengen aus weiter Ferne, aus Norwegen, Schweden oder Rußland, für die nordamerikanischen Länder aber aus Canada herbei zu schaffen. Man beladet Schiffe, welche eigens zu diesem Zwecke ausgesendet werden, mit großen Blöcken von Eis, die man aus den Decken der Seen und Flüsse in jenen kälteren Ländern heraussägt und umgiebt diese Blöcke von allen Seiten mit dichten Lagen von Sägespänen, welche durch ihr schlechtes Leitungsvermögen verhindern sollen, daß die Wärme bis zum Eise vordringt und daß dasselbe schmilzt, wenn das Schiff in Gegenden kommt, in denen das Klima ein milderes ist. Allein die Kosten welche dieser Transport verursacht, sowie die Unbequemlichkeit, daß man sich in großer Abhängigkeit von denen befindet, welche diesen Transport vermitteln, daß man also leicht in die Lage kommen kann gerade da kein Eis zur Hand zu haben, wenn man es nothwendig gebraucht, man müßte sich denn sehr große Vorräthe dieses Stoffes ansammeln, alle diese Umstände haben Veranlassung gegeben, daß man sich ernstlich mit der Aufgabe beschäftigte, die Methode der Eisbereitung, welche man längst in kleinem Maßstabe mit Hilfe einer Luftpumpe ausgeführt hatte, zu vervollkommnen. Das Princip, welches bei dem kleinen Versuche mit der Luftpumpe zur Anwendung kommt, besteht aber in der Kälteerregung durch plötzliche Verdampfung sehr flüchtiger Stoffe, und eben dieses Princip kommt zur Anwendung bei den Vorrichtungen, durch welche größere Mengen von Eis mit einem Male bereitet werden, also bei den sogenannten Eismaschinen.

Bei der kleinen Eismaschine von Carré (Fig. 242), welche am häufigsten angewendet wird, wenn man nur geringere Mengen Eises bedarf, sehen wir zunächst einen cylindrischen Dampfkessel, der in einen

Ofen gestellt ist und von welchem ein Rohr erst aufwärts und dann seitwärts in ein ringförmiges Gefäß hinüberführt, das äußerlich die Gestalt eines abgestumpften Kegels besitzt und in ein Gefäß mit kaltem Wasser getaucht ist. In die innere Höhlung dieses Gefäßes paßt ein Blechcylinder, welchen die Abbildung über demselben zeigt, genau hinein. Soll der Apparat zum ersten Male gebraucht werden, so füllt man in den Dampfkessel sogenannten Salmiakgeist, d. h. Wasser, in welchem Ammoniakgas bis zur Sättigung gelöst ist, öffnet dann ein Seitenventil, welches in ein Rohr führt, das unter Wasser mündet, und erwärmt zunächst gelinde. Durch die Wärme entwickelt sich aus dem Wasser das Ammoniak im gasförmigen Zustande und treibt die Luft aus dem

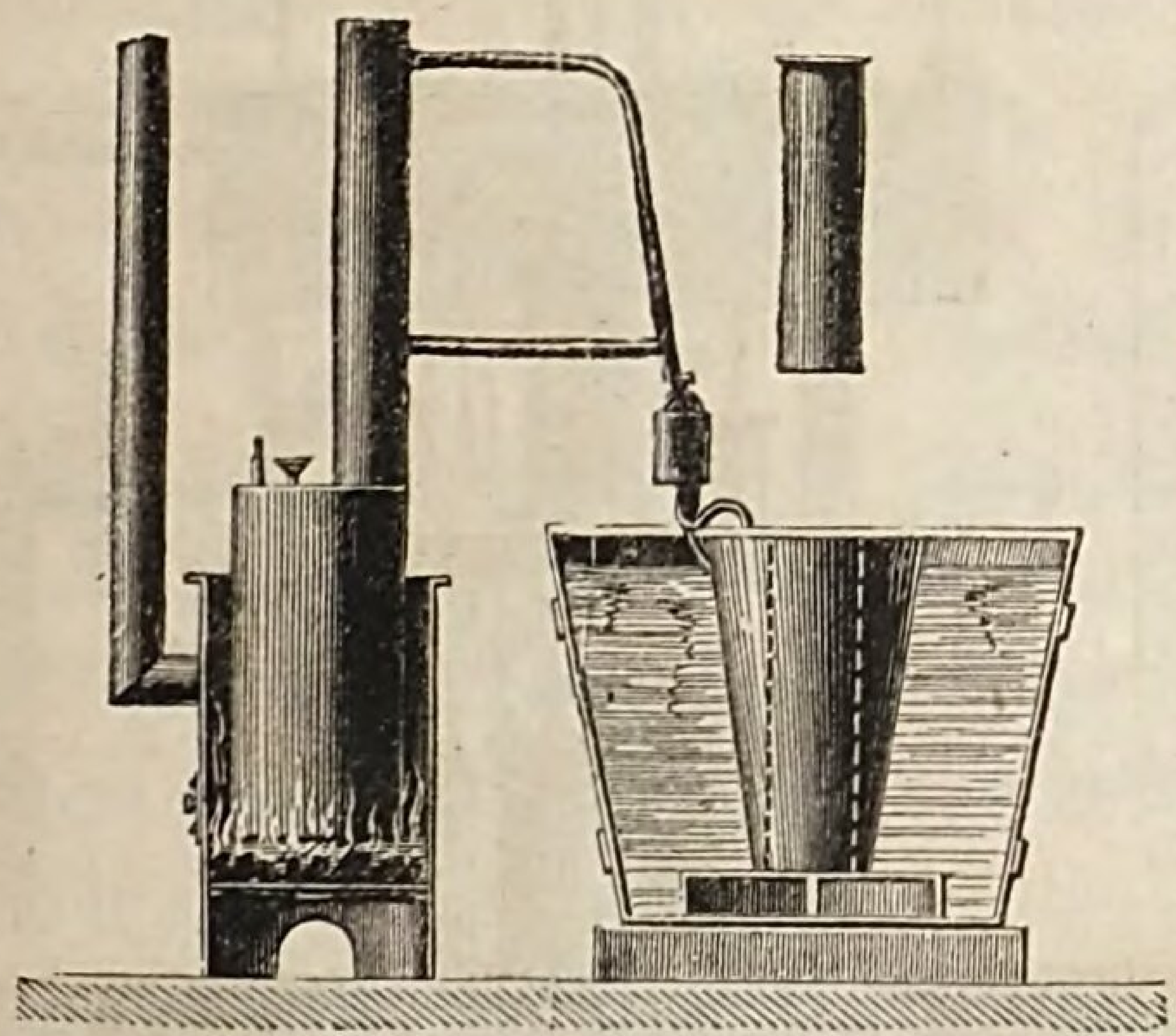


Fig. 242. Kleine Eismaschine von Carré.

Seitenrohre in das Wasser aus. Sobald alle Luft ausgetrieben ist, was man daran erkennt, daß aus dem Seitenrohre keine Blasen mehr aufsteigen und daß das Wasser, in welches dieses Rohr mündet, einen merklichen ammoniakalischen Geruch erhält, schließt man das Ventil, welches man nun nie wieder zu öffnen braucht, so oft man auch den Apparat benutzt, ausgenommen wenn etwa mit der Zeit etwas Luft eingedrungen sein sollte. Nunmehr erhitzt man schärfer: dadurch bilden sich die Ammoniakdämpfe reichlicher und dringen in das ringförmige Gefäß, wo sie durch das kalte Wasser, in das dieses eingetaucht ist, abgekühlt werden. Diese Abkühlung, sowie der Druck der sich neu entwickelten Dämpfe bewirken die Condensation derselben innerhalb dieses Gefäßes. Sobald die Temperatur in dem Dampfkessel die Höhe von 130° er=

reicht hat, was man an einem Thermometer abliest, dessen Röhre durch eine Stopfbüchse im Deckel des Kessels geführt ist, setzt man das cylindrische Blechgefäß, welches das Wasser enthält, das in Eis verwandelt werden soll, in das ringförmige Gefäß ein, hebt dann den ganzen Apparat aus und stellt nun den Dampfkessel in das mit kaltem Wasser gefüllte Gefäß, während das ringförmige Gefäß mit schlechten Wärmeleitern umgeben wird. Sobald sich das Wasser im Dampfkessel wieder abkühlt, so saugt es die Ammoniakdämpfe wieder auf, der Druck derselben wird geringer und die Folge ist hiervon, daß sich das zuvor im

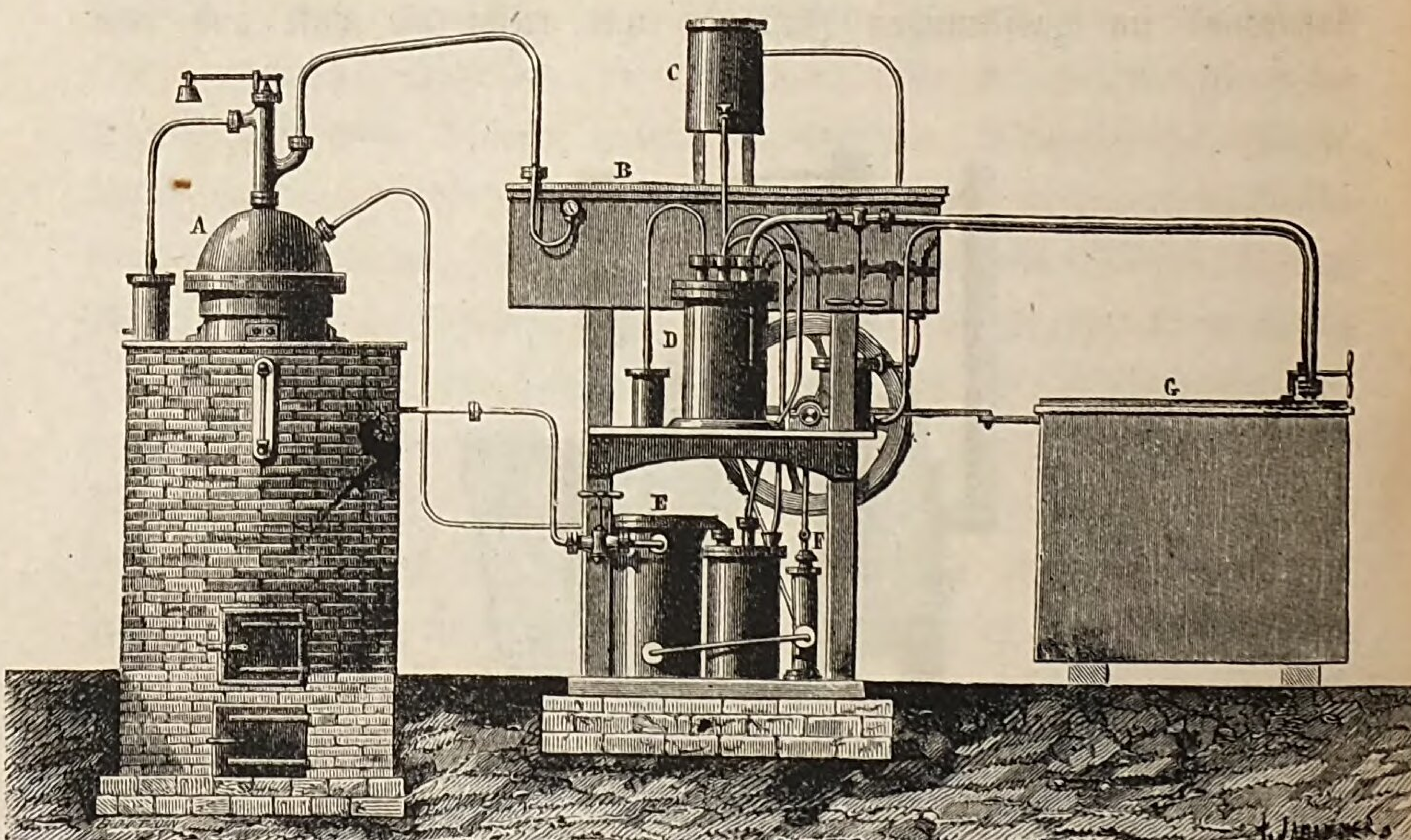


Fig. 243. Große Eismaschine von Carré.

ringförmigen Gefäße condensierte Ammoniak wieder verflüchtigt. Hierbei verbraucht es eine große Menge Wärme, die es dem Wasser im Blechgefäß entzieht, sodaß dasselbe nunmehr zu Eis erstarrt; hebt man das Blechgefäß wieder aus, so findet man in demselben gewöhnlich einen Block aus klarem Eise, der es erfüllt. Bei diesen kleinen Apparaten ist gewöhnlich für die Verdampfung eine Zeit von 25 Minuten, für die Eisbildung von 30 Minuten erforderlich; ist das Verfahren zu Ende, so kann es sofort wieder von Neuem begonnen werden.

Für die Eisbereitung im größeren Maßstabe dienen Apparate, welche ebenfalls von Carré angegeben sind und von denen wir in Figur 243

eine Abbildung mittheilen. Wir sehen einen Dampfkessel A, in welchem die Ammoniaklösung erwärmt wird; die entwickelten Dämpfe entweichen durch eine Röhrenleitung in den Behälter B, wo sie durch kaltes Wasser, das beständig in einem Strahle aus C herabfällt, abgekühlt werden und dadurch sich condensieren. Die durch Condensation gebildete Flüssigkeit endlich füllt die hohlen Wände des Gefäßes G, das zur Aufnahme des Wassers bestimmt ist, welches in Eis verwandelt werden soll. Hat das Wasser in A seinen Gehalt an Ammoniak vollständig verloren, so läßt man es in das Gefäß E abfließen, welches mit dem Cylinder D und mit dem Kühlgefäße in Verbindung steht; in dem Grade nun, wie sich das Wasser in E abkühlt, nimmt es auch wieder Ammoniak in sich auf, sodaß also alle die Flüssigkeit, welche sich in den Wänden des Gefäßes G verdichtet hatte, sich wieder verflüchtigt und dadurch die Eisbildung in G veranlaßt. Hat der Proceß sein Ende erreicht, so wird das Wasser, welches sich wieder mit Ammoniak gesättigt hat, mittels der Pumpe F aus dem Gefäße E in den Dampfkessel A zurückgeführt.

Nur ganz kurz erwähnen wollen wir, daß man auch den zweiten Uebergang aus einem Aggregatzustand in den andern, nämlich die Verwandlung fester Körper in flüssige und die dabei eintretende Bindung der Wärme benutzen kann, um ein starkes Herabsinken der Temperatur zu bewirken. Schon dadurch, daß man ein Salz in einer Flüssigkeit auflöst, sinkt die Temperatur, besonders wenn der Vorgang beschleunigt wird, was durch Umrühren der Flüssigkeit geschieht. Löst man z. B. 1 Theil Salmiak in 2 Theilen Wasser von 10° Wärme schnell auf, so sinkt die Temperatur desselben auf — 10°; gleiche Theile von Schwefelcyankalium und Wasser kühlen sich von + 18° auf — 21° ab; bei anderen Salzen ist die Abkühlung zwar nicht so stark aber immer noch genügend, um z. B. Getränke kühl und frisch zu erhalten. Noch bessere Resultate kann man erzielen, wenn man Schnee oder fein zertheiltes Eis in bestimmten Verhältnissen mit gewissen Salzen mischt und dabei diese Mischungen, welche man Kältemischungen nennt, beständig umrührt. So geben 1 Theil Kochsalz und 2 Theile Schnee — 20°, 2 Theile Kochsalz, 1 Theil Salmiak und 5 Theile Schnee — 24°, 5 Theile Kochsalz, 5 Theile salpetersaures Ammoniak und 12 Theile Schnee — 31°, 2 Theile Chlorcalcium und 1 Theil Schnee endlich — 42°.

In allen diesen Fällen verwandelt sich der Schnee in Wasser, in dem sich die Salze auflösen, und die Temperatur erniedrigt sich dabei bis zu dem Punkte, bei welchem die Lösung schmelzen würde.

Viertes Kapitel.

Die Dampfkraft.

§ 1. Erste Beobachtungen über die Dampfkraft.

Wie wir bereits früher erwähnt haben, kannten schon die Alten die Eigenschaft der Luft, welche man als die Elasticität derselben bezeichnet: schon Hero von Alexandrien hatte ja die früher erwähnten Apparate erfunden, die nach ihm als Heronsball und Heronsbrunnen bezeichnet werden und bei welchen die Bewegung eines Wasserstrahles durch die Ausdehnung der vorher zusammengedrückten Luft bewirkt wird. Derselbe Physiker scheint sich aber auch mit der Ausdehnung der Wasserdämpfe beschäftigt zu haben, denn er ist wahrscheinlich der Erfinder des ältesten Instrumentes, bei welchem eine Bewegung durch die Kraft des entwickelten Wasserdampfes hervorgerufen wird.

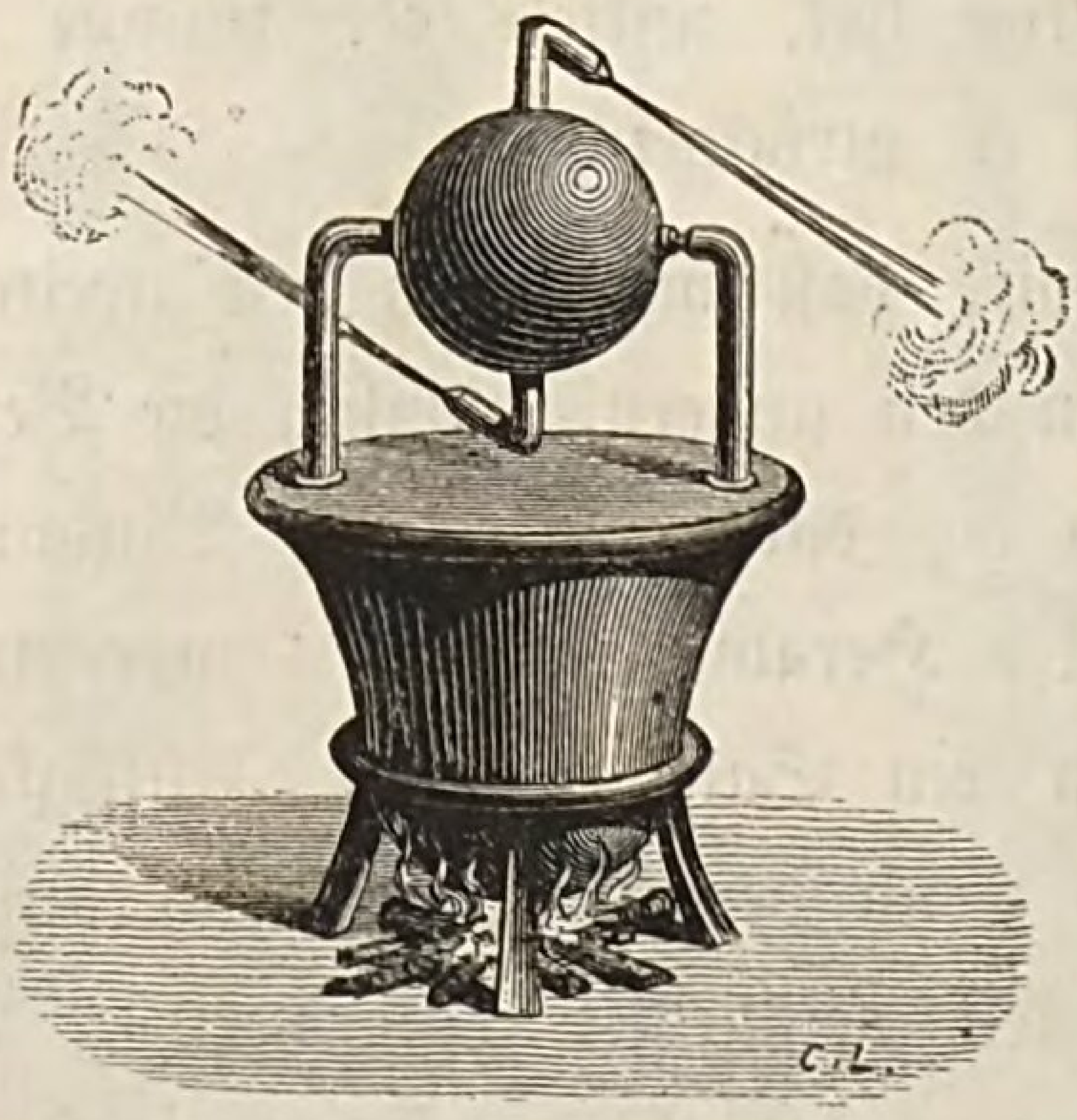


Fig. 244. Die Aeolipile.

Dieses Instrument, dessen Erfindung bis auf Hero zurückgeführt wird, die Aeolipile (Fig. 244), wirkt freilich in anderer Weise als unsere jetzigen Dampfmaschinen und konnte auch niemals für die praktische Verwendung in eine geeignete Form gebracht werden; allein als ältestes Instrument, bei dem die Dampfkraft benutzt wird, verdient der Apparat doch eine kurze Besprechung. Die Aeolipile besteht aus einem Dampfkessel, von dessen Deckel ein Rohr aufsteigt, welches an seinem oberen Ende gekrümmt ist und in eine hohle Kugel einmündet, die sich um dasselbe drehen kann, indem sie auf der entgegengesetzten Seite mittels eines Zapfens auf einer Säule ruht, welche mit dem aufsteigenden Rohre gleiche Höhe hat; das Rohr selbst kann durch

einen Hahn verschlossen werden. Von der Kugel gehen auf zwei entgegengesetzten Seiten zwei weitere Rohre aus, welche scharf im rechten Winkel nach entgegengesetzten Richtungen hin senkrecht zur Drehungsaxe gebogen sind und aus welchen der Dampf ausströmen kann. Füllt man den Kessel mit Wasser, welches man erhitzt, während der Hahn im Rohre geschlossen ist, und öffnet man letzteren, sobald der Dampf eine genügende Spannung erlangt hat, so wird der Dampf die Kugel erfüllen und aus den Seitenrohren in die Luft ausströmen. Wären diese Rohre auf allen Seiten geschlossen, so würde der Dampf auch in allen Richtungen mit gleicher Stärke auf die Wände drücken, und deshalb könnte er keine Bewegung hervorbringen: allein da jedes Rohr nach der einen Seite hin offen ist, und da also der Dampf in dieser Richtung keinen Widerstand findet, sondern frei ausströmen kann, so kommt der Druck gegen die gegenüberstehende Wandfläche zur Geltung, sodaß durch denselben die Kugel in Umdrehung versetzt wird und zwar in der Richtung, welche der Richtung der Ausströmung des Dampfes entgegengesetzt ist. Es zeigt sich hier genau dieselbe Erscheinung, wie bei den Segner'schen Wasserrädern, nur daß bei diesen ein Wasserstrahl an Stelle des Dampfstrahles ausströmt, oder auch wie bei den Kanonen, die durch die Explosion ebenfalls zurückgestoßen werden, sobald der Schuß abgefeuert wird. Einen praktischen Nutzen hat wie gesagt die Aeolipile nicht gewährt, ja sie zeigte sich nicht einmal geeignet um, wie Papin vorschlug, den Bratspieß zu drehen.

Eine etwas deutlichere, wenn gleich noch ziemlich unklare Vorstellung von dem Wesen der Dampfkraft hatte Salomo de Caus, welcher im Anfange des 17. Jahrhunderts eine Schrift unter dem Titel: Die Ursachen der bewegenden Kräfte, veröffentlichte; an den Namen dieses Mannes knüpfen sich mancherlei Erzählungen von Verfolgungen, die er habe erdulden müssen; inwieweit dieselben auf Wahrheit beruhen, wird sich jetzt noch schwerlich entscheiden lassen. Salomo de Caus als ersten Erfinder der Dampfmaschine zu bezeichnen ist durchaus nicht gerechtfertigt, denn die ganze Entdeckung, die er gemacht hat, beschränkt sich darauf, daß er beim Heronsball an Stelle der comprimierten Luft den Wasserdampf als treibende Kraft benutzt. Durch ein Rohr D (Fig. 245) füllt er einen Ballon A, in welchen eine Röhre B C bis nahe an den Boden herabreicht, mit Wasser, schließt die Hähne bei D und B und erwärmt; dadurch bildet sich Wasserdampf, dessen Spannung mit der Temperatur steigt,

sodaß, wenn der Hahn B geöffnet wird, das Wasser mit ziemlicher Gewalt aus der Röhre geschleudert wird.

Das Jahrhundert, in welchem Salomo de Caus lebte, war überhaupt die Zeit, in der sich ganz allmählich die Erfindung der Dampfmaschine vorbereitete, eine Erfindung, die in den letzten Jahren jenes Zeitraumes wirklich in's Leben trat. Damals lernte man die Eigenschaften der Luft genauer kennen, denn nahezu um dieselbe Zeit stellte Galilei und Torricelli in Italien die Lehre vom Luftdrucke auf und construierte der letztgenannte das wichtige Instrument, durch welches jene Größe einer genauen Messung unterworfen werden konnte, nämlich das Barometer, während Otto von Guericke in Deutschland das Verhalten der Luft untersuchte, wenn er dieselbe durch die von ihm erfundene Luftpumpe in verdünnten Zustand versetzte. Weiter fanden kurze Zeit darauf Boyle in England und Mariotte in Frankreich die Gesetze auf, nach denen sich der Druck der Gase im geschlossenen Raume reguliert. Gleichen Schritt mit diesen Untersuchungen über die Eigenschaften der luftförmigen Körper, zu denen ja auch die Dämpfe gehören, hielten aber auch die Untersuchungen über das Wesen des anderen Factors, der bei der Entwickelung der Dampfkraft zur Mitwirkung gelangt, nämlich der Wärme: Denn in dieselbe Zeit fällt auch die Erfindung des Thermometers durch den Holländer Drebbel. Alle diese Bestrebungen bereiteten das Feld vor, auf dem die Erfindung der ersten wirksamen Dampfmaschine durch Papin, Savery und Newcomen erwuchs: wenden wir uns jetzt zu den Apparaten, welche von den drei zuletzt genannten ersonnen worden sind.

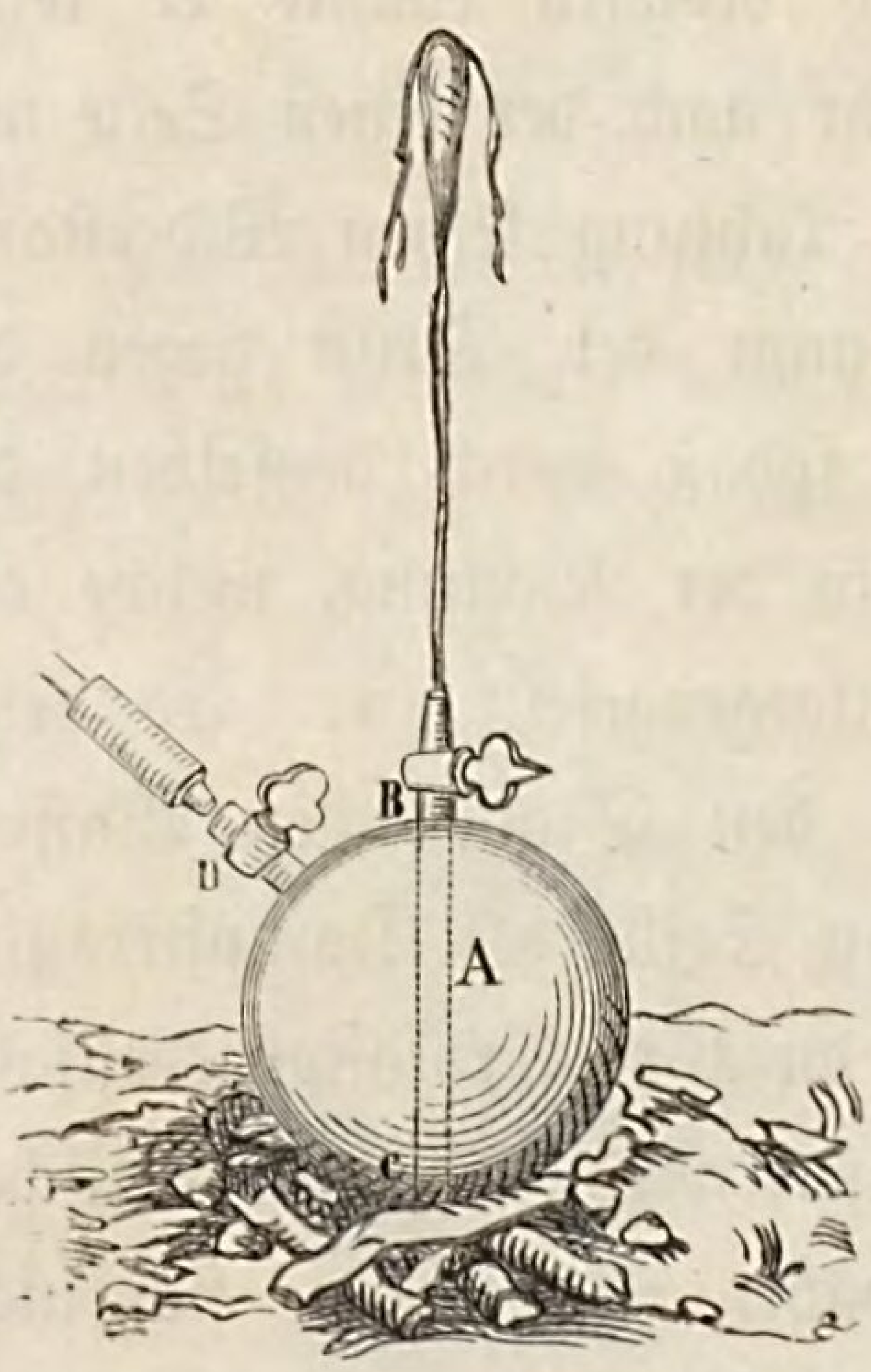


Fig. 245. Apparat von Salomo de Caus.

§ 2. Maschinen von Papin, Savery und Newcomen.

Im Jahre 1680 faßte Huyghens den Gedanken, daß man möglicherweise die Kraft, die das Schießpulver bei seiner Explosion entwickelt, sich dadurch nutzbar machen könnte, daß man die Entzündung in einem Cylinder

erfolgen läßt, in welchem sich ein Kolben herabbewegen kann. Er meinte, daß, wenn durch die heftige Explosion die Luft aus Oeffnungen ausgetrieben werden könnte, die sich sofort wieder schlössen, wenn also dadurch unter dem Kolben ein nahezu luftleerer Raum entstände, der äußere Luftdruck den Kolben mit einer Energie herabtreiben würde, die im Verhältniß zu seiner Oberfläche steht. Durch die auf solche Weise entwickelte Kraft glaubte er nicht allein große Lasten aller Art, besonders auch das Wasser der Bergwerke heben, sondern auch Kugeln und Pfeile mit großer Gewalt in derselben Weise fortschleudern zu können, wie dies bei den Ballisten der Alten der Fall war. Diese Idee wurde von Samuel Moreland weiter verfolgt, nur meinte derselbe, daß dieselbe Wirkung auch dadurch erzielt werden könnte, daß man Wasser in Dampf verwandelte, weil letzterer einen 2000 mal so großen Raum einnähme als das Wasser, aus dem er gebildet worden ist. Diese Angabe beweist uns, wie genau Moreland schon mit der Natur des Wasserdampfes bekannt war: denn nach späteren Untersuchungen ergab sich, daß an Stelle jenes Werthes nur die Zahl 1696 einzusetzen ist, daß also Moreland der Wahrheit schon ziemlich nahe gekommen war.

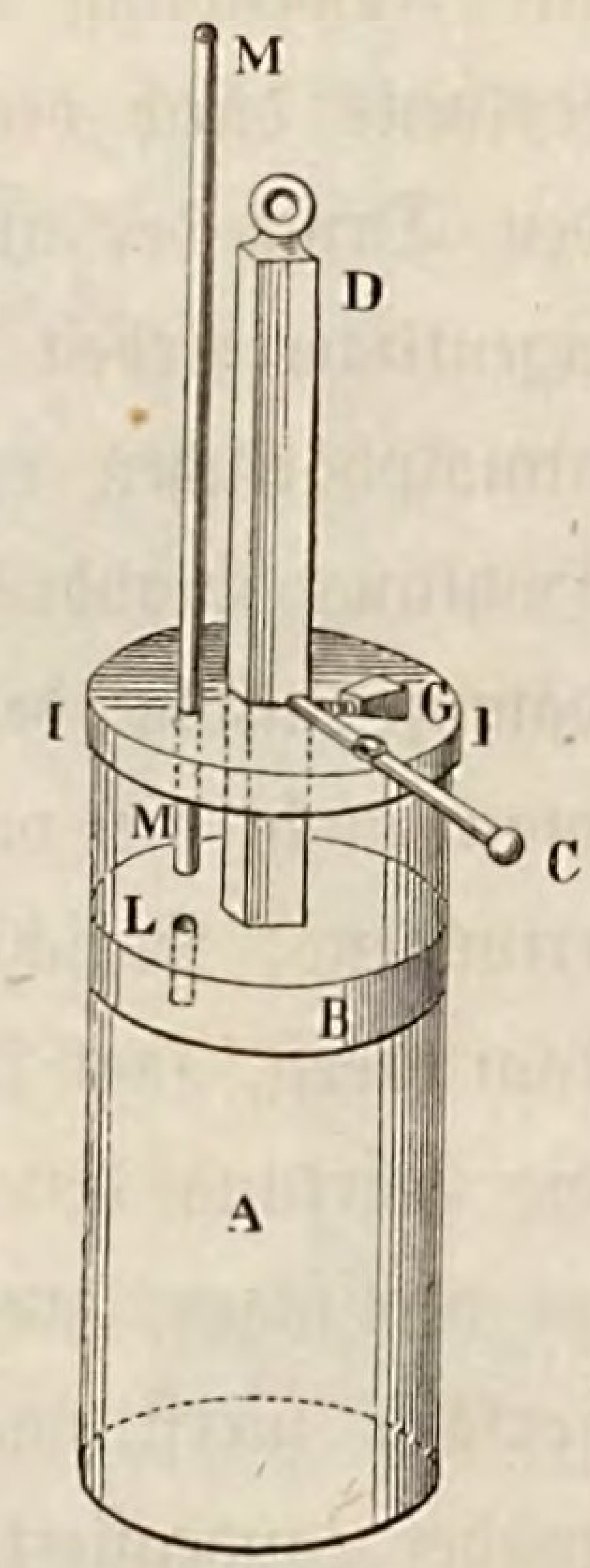


Fig. 246. Dampfmaschine von Papin.

Zu gleicher Zeit beschäftigte sich mit ähnlichen Untersuchungen der Arzt Papin, welcher durch den Widerruf des Edictes von Nantes aus seiner Heimath Frankreich vertrieben worden war und in der hessischen Universitätsstadt Marburg eine Zufluchtsstätte gefunden hatte. Schon hatten ihn seine Untersuchungen über die Dämpfe auf die Erfindung des nach ihm benannten Kochtopfes geführt, den wir im Buche der Erscheinungen besprachen, und im Jahre 1690 gelang es ihm, eine kleine Maschine zu construieren, welche auf dem Principe beruhte, das Huyghens und Moreland aufgestellt hatten. In einen unten geschlossenen eisernen Cylinder A (Fig. 246) wurde eine Schicht Wasser gefüllt und darauf ein Kolben B, welcher gut einpaßt, in dem sich aber eine Oeffnung L befindet, so weit herabgedrückt, bis das Wasser durch die Oeffnung L hindurchging. Letztere wurde nun durch einen Stab M geschlossen und darauf das Wasser erhitzt. Die Dämpfe, welche sich bildeten, hoben nun den Kolben und die an ihm befestigte Kolbenstange D, welche einen Einschnitt

trug, in dem ein kleiner Stab C, der auf dem Deckel I befestigt war und durch eine Feder G vorgedrückt wurde, einschnappte, sobald der Kolben seine höchste Stellung erreicht hatte. Entfernte man den Cylinder vom Feuer, so condensierten sich die Dämpfe unter dem Kolben B, sodaß daselbst ein luftleerer Raum entstand: befestigte man nun an der Kolbenstange D ein Seil, das über eine Rolle geschlungen war, und entfernte man das Stäbchen C aus dem Einschnitte, so wurde der Kolben B durch den Druck der äußeren Luft herabgedrückt, wodurch nicht unbedeutende Lasten gehoben werden konnten.

Fragen wir uns, welche Kräfte bei der von Papin erfundenen Maschine zur Anwendung kommen, so sehen wir leicht, daß zwar das Heben des Kolbens durch den Druck des Dampfes bewirkt wird, dessen Spannung den Druck der atmosphärischen Luft ein wenig übersteigt, daß aber die eigentliche Arbeit nicht durch den Dampf, sondern durch die Last der atmosphärischen Luft geleistet wurde, welche den Kolben wieder in die Höhlung hinabdrückt, in welcher sich durch die Condensation der Wasserdämpfe infolge der Abkühlung ein luftleerer Raum bildet: daher bezeichnet man auch die von Papin ebenso wie die bald darauf von Newcomen erfundene Maschine als eine atmosphärische Maschine. „Papin kam zuerst, sagt Arago, auf den Gedanken in ein und derselben Maschine die Wirkung der Spannkraft des Dampfes mit der anderen Eigenschaft zu vereinigen, welche derselbe Dampf besitzt, und welche jener Naturforscher zuerst nachgewiesen hat, daß er sich nämlich bei der Abkühlung wieder condensiert.“

Wenn Papin, der somit wohl mit Recht als der eigentliche Erfinder der Dampfmaschine anzusehen ist, nun auch seine Erfindung noch etwas weiter verfolgte, wenn es ihm auch gelang, sogar mit seiner Maschine ein kleines Boot in Bewegung zu setzen, so gab er doch seine Versuche auf, als er im Jahre 1705 durch Leibnitz von der Einrichtung der Dampfmaschine in Kenntniß gesetzt wurde, die inzwischen von Savery erfunden worden war.

Der englische Bergbeamte Savery war auf den glücklichen Gedanken gekommen, die Operationen so von einander zu trennen, daß er die Entwickelung des Dampfes in einem Dampfkessel, die Condensation aber in einem besonderen Gefäße vor sich gehen ließ: in anderer Beziehung aber ist die von ihm angewendete Construction ein Rückschritt gegen die von

Papin eingeführte. Denn bei Savery dient die Spannkraft des Dampfes nur dazu, Wasser in einer Röhre zu erheben, während wir gesehen haben, daß sich Papin dieser Kraft bediente, um einen Kolben in eine hin und her gehende Bewegung zu versetzen, welche durch Anwendung von Zwischenmaschinen, die auf rein mechanischen Principien beruhten, in irgend welche andere Form verwandelt werden konnte. Papin's Maschine konnte also jedem beliebigen Zwecke dienen, während Savery's Apparat nur da anwendbar war, wo es galt Wasser auf eine bestimmte Höhe zu heben.

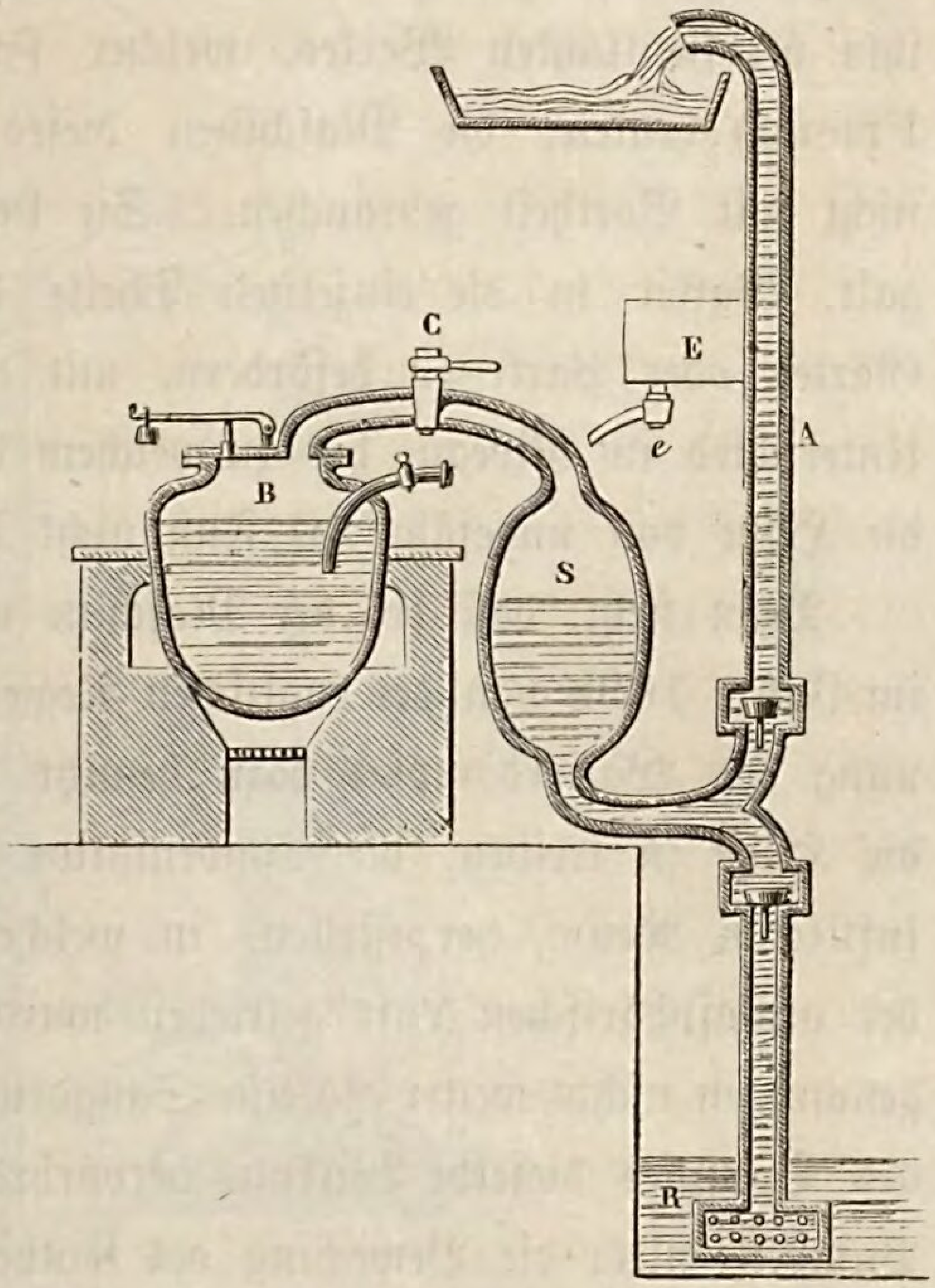


Fig. 247. Dampfmaschine von Savery.

Savery's Dampfmaschine (Fig. 247) bestand aus einem Dampfkessel B, aus welchem der Dampf durch ein Rohr in ein Gefäß S geleitet wurde, wo er sich verdichten konnte, wenn das Verbindungsrohr durch den Hahn C abgeschlossen und ein Strahl kalten Wassers aus dem Gefäße E durch den Hahn auf e auf seine Wände gerichtet wurde. Da der einströmende Dampf alle Luft aus dem Gefäße S verdrängt hatte, so mußte in diesem nach der Condensation ein luftleerer Raum entstehen, sodaß der äußere Luftdruck nun Macht erlangte, das Wasser bei R in das Saugrohr und schließlich in das Gefäß S einzutreiben. Sobald der Hahn C aber wieder geöffnet wurde, drückte der Dampf das Wasser aus S wieder zurück und dieses stieg, da ein Ventil das Zurückfließen in das Saugrohr hinderte, weiter in das Steigrohr A, welches ebenfalls ein Ventil enthält, das nur das Aufsteigen des Wassers, nicht aber das Zurückfließen desselben gestattete. Durch abwechselndes Oeffnen des Hahnes C und Ausspritzen von Wasser aus dem Gefäße E wurde das Aufsteigen des Wassers immer wieder von Neuem bewirkt.

Die Wirkungen, welche durch diese Maschine erzielt werden konnten,

waren nicht sehr bedeutend, Arago spricht sich darüber folgendermaßen aus: „Um z. B. das Wasser nur auf die geringe Höhe von 200 Fuß zu heben war Savery genöthigt den Dampfdruck im Kessel bis auf 6 Atmosphären zu steigern: dadurch entstanden beständig Lockerungen an Stellen, wo die einzelnen Theile an einander gefügt waren, ferner schmolzen häufig die Bindemittel, und endlich war auch die Gefahr der Explosion nicht gering. Deßhalb ließen sich trotz des Titels des von ihm veröffentlichten Werkes, welcher Freund des Bergmanns (Miner's Friend) lautete, die Maschinen dieses Technikers in den Bergwerken nicht mit Vortheil gebrauchen. Sie ließen sich nur anwenden, wenn es galt, Wasser in die einzelnen Theile der Paläste oder Lusthäuser, der Gärten oder Parke zu befördern, mit einem Worte überall da, wo der Unterschied im Niveau, bis zu welchem das Wasser gehoben werden sollte, die Höhe von ungefähr 40 Fuß nicht bedeutend überstieg."

Man sieht, daß bei der Maschine von Savery, welche dem Erfinder im Jahre 1698 von der englischen Regierung patentiert wurde, die Spannung des Wasserdampfes dazu benutzt wird das Wasser selbst direct in die Höhe zu treiben, die Condensation des Dampfes dagegen um einen luftleeren Raum herzustellen, in welchen das Wasser durch den Druck der atmosphärischen Luft getrieben wurde: die Maschine war also streng genommen nichts weiter als eine Saugdruckpumpe, bei welcher die Thätigkeit des Dampfes dieselbe Wirkung hervorbrachte, welche bei den gewöhnlichen Pumpen durch die Bewegung des Kolbens in der Brunnenröhre hervorgerufen wird, mit den Dampfmaschinen, wie sie jetzt im Gebrauche sind, hatte sie dagegen nur wenig Aehnlichkeit. Da Savery mit seiner Maschine durchaus nicht die Wirkungen erzielen konnte, wie er erwartet hatte, und da es ihm nicht selbst gelang den Uebelständen, die sich bei ihr zeigten, abzuhelfen, so setzte er sich in den ersten Jahren des folgenden Jahrhunderts mit zwei Einwohnern der Stadt Darmouth in Devonshire, dem Kleinschmied Newcomen und dem Glaser Cawley, in Verbindung, und diesen drei Männern gelang es, einen Apparat zu construieren, durch den sich bessere Resultate erzielen ließen, indem sie in der Hauptsache zu dem Principe zurückkehrten, das bereits Papin zur Anwendung gebracht hatte.

Bei der Maschine von Newcomen (Fig. 248) dem die Erfindung im Wesentlichen zuzuschreiben ist, wird der Dampf in einem besonderen Dampfkessel B erzeugt und strömt von diesem aus in einen Cylinder C,

in welchem sich ein gut schließender Kolben P befindet, welcher mittels einer Kette an einem zweiarmigen Hebel, dem Balancier, befestigt ist. Zuerst läßt man durch den Dampf die Luft aus dem an der Seite angebrachten Rohre V, welches das Blasventil genannt wird, austreiben und schließt hierauf dieses Ventil. Der aus dem Kessel neu herzuströmende Dampf, dessen Spannung den Druck einer Atmosphäre nur wenig übersteigt, füllt nun den Cylinder aus, in welchem der Kolben P

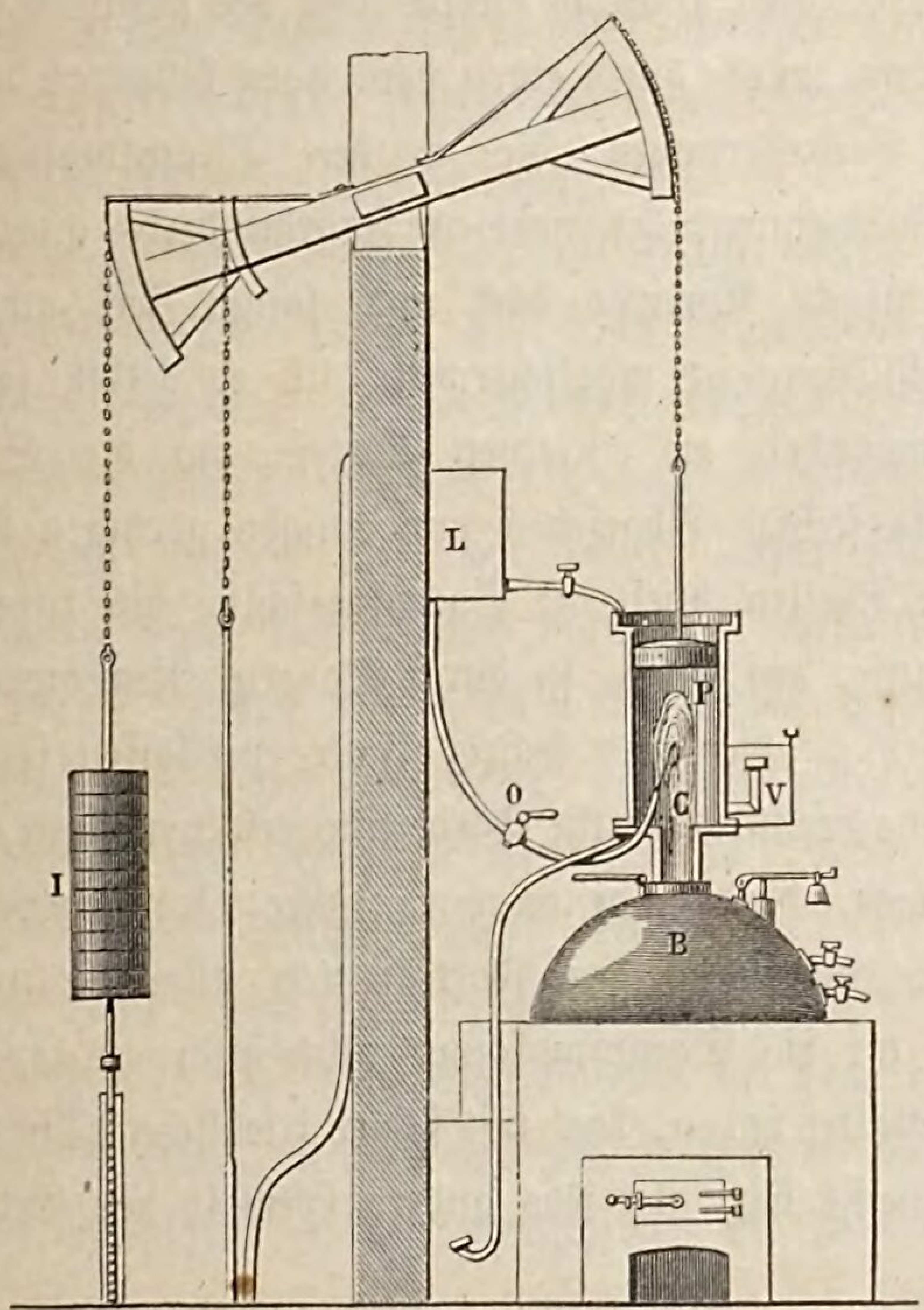


Fig. 248. Atmosphärische Maschine von Newcomen.

durch ein Gegengewicht I, das auf der entgegengesetzten Seite an den Balancier der Maschine angehängt ist, bis an das obere Ende hinaufgezogen wird. Man schließt nunmehr den Hahn, durch welchen der Dampf aus dem Dampfkessel ausströmt, und öffnet dagegen den Hahn O in einem Verbindungsrohre, das aus einem mit kaltem Wasser gefüllten Gefäße L in den Cylinder führt: durch das einspritzende kalte Wasser werden die Dämpfe im Cylinder C soweit abgekühlt, daß sie sich condensieren, es entsteht also ein luftleerer Raum und der äußere Luftdruck

kann zur Wirkung gelangen. Durch denselben wird der Kolben P herabgedrückt und dadurch einestheils das Gegengewicht I, anderentheils zugleich aber auch die Pumpenstange gehoben. Nachdem man nun das Ventil O geschlossen hat, läßt man das Wasser, das sich im Cylinder angesammelt hatte, abfließen und öffnet den Hahn des Dampfkessels wieder, sodaß die Bewegung des Kolbens von Neuem in gleicher Weise erfolgt.

Newcomens atmosphärische Maschine fand sehr bald Eingang in den Bergwerken, wo man sich ihrer bediente, um die Grubenwässer aus den Schachten zu heben; aber auch die Vertheilung des Wassers in der Wasserleitung von London wurde durch einen derartigen Apparat bewirkt. Trotz der ungeheuren Verbesserungen, die an den Dampfmaschinen besonders in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts angebracht worden sind, ist jener einfache Apparat doch noch lange Zeit an vielen Orten im Gebrauch geblieben, ja möglicherweise ist er selbst jetzt noch nicht vollständig verschwunden an einzelnen Orten, wo die Steinkohle sehr niedrig im Preise steht. Abgesehen von einigen geringen Verbesserungen in den einzelnen Theilen blieb die Dampfmaschine bis zum Jahre 1769 auf derselben Stufe, auf welche sie durch Savery, Newcomen und Cawley gebracht worden war; vier und sechzig Jahre verflossen somit, ohne daß die Erfindung eine beachtenswerthe Förderung erfahren hatte, bis die geistvollen Entdeckungen, die im genannten Jahre James Watt machte, in Verbindung mit den gewaltigen Fortschritten aller Naturwissenschaften von jener Zeit an die Dampfmaschine allmählich zu jenem mächtigen Werkzeuge umgestaltet haben, das mit seiner friedlichen Thätigkeit größere Eroberungen gemacht hat, als jede andere Gewalt der Erde.

§ 3. Watt's Erfindungen.

Im Jahre 1763 wurde dem Mechaniker James Watt, der damals eine sehr bescheidene Stellung als Inspector der Modellsammlung an der Universität Glasgow bekleidete, eine Newcomen'sche Maschine zur Reparatur übergeben, und dies war die äußere Veranlassung, daß dieser ausgezeichnete Physiker anfing sich mit der Einrichtung dieser Apparate, die damals in den englischen Bergwerken allgemein eingeführt waren, zu beschäftigen und eine Reihe von Verbesserungen zu ersinnen, durch welche die Dampfmaschine von Grund aus umgestaltet wurde, sodaß sich ihre Leistungen

in der erstaunlichsten Weise steigerten. Das erste, was Watt in Erwägung zog, war der bedeutende Verlust an Wärme, der dadurch herbeigeführt wurde, daß durch das einspritzende kalte Wasser der Cylinder immer wieder aufs Neue abgekühlt wurde, daß mithin der Dampf die Wände desselben immer erst erwärmen mußte, bevor er durch seine Ausdehnung den Kolben heben konnte. Einige Versuche, die er im kleineren Maßstabe anstellte, führten ihn zu dem Resultate, daß es keineswegs nothwendig sei, daß die Condensation in demselben Raume erfolge, in welchem sich der Kolben bewegt, sondern daß dieselbe ebensogut in einem besonderen Gefäße, dem Condensator, stattfinden kann, welches durch ein Rohr mit dem Dampfcylinder in Verbindung steht.

Watt's Vermögensverhältnisse erlaubten ihm nicht, seine Erfindung, auf die er im Jahre 1769 Patent auf sechs Jahre genommen hatte, selbständig weiter zu verfolgen, und so verband er sich mit dem Pächter eines Kohlenwerkes, Dr. Röbuck, mit dem er gemeinsam Maschinen nach seinem Systeme anfertigte. Allein auch die Mittel dieses Mannes erschöpften sich bald, und so fehlte wenig, daß nicht diese wesentliche Verbesserung vielleicht auf Jahre hinaus wieder in Vergessenheit gerathen wäre, wenn es nicht glücklicherweise gelungen wäre, einen ebenso einsichtsvollen, als reichen Maschinenbauer Namens Bulton aus Soho bei Birmingham dafür zu interessieren. Nicht weniger als 50,000 Lstr., mehr als eine Million Mark setzte dieser Mann auf's Spiel und errichtete mit Watt in Soho eine Fabrik für Dampfmaschinen, die noch jetzt unter James Watt's Namen besteht. Aus dieser Fabrik gingen nun die Maschinen hervor, welche allmählich in den Bergwerken die Newcomen'schen immer mehr verdrängten und nicht allein dem Besitzer der Fabrik große Reichthümer zuführten, sondern auch den Inhabern der Bergwerke durch Ersparung von Brennmaterial ungeheuren Vortheil gewährten. Auf Grund ihres Patentes, das bald bis zum Ende des Jahrhunderts verlängert wurde, beanspruchten Watt und Bulton nur den dritten Theil der Summen, die durch Anwendung des Condensators an Kohlen erspart wurden: gleichwohl fanden es die Besitzer des Bergwerkes von Chace-Water, in welchem nur drei Pumpen im Gange waren, vortheilhafter, sich mit Watt über eine jährliche Abfindungssumme von 2500 Lstr. zu vergleichen, woraus man schließen kann, daß an dieser einzigen Stelle die jährliche Kohlenersparniß mehr als 7000 Lstr. betrug.

Im Zusammenhange mit der Erfindung des Condensators steht die weitere Erfindung der Pumpe, welche das kalte Wasser in den Kühlraum einspritzt, und der anderen, welche das durch die Condensation gebildete und das eingespritzte Wasser nebst der zugleich eingedrungenen Luft wieder entfernt und welche man jetzt als Luftpumpe bezeichnet. Alle diese Verbesserungen und andere mehr, die wir Watt verdanken, werden wir im Zusammenhange bei der Betrachtung der Maschinen, wie sie jetzt im Gebrauche sind, etwas genauer kennen lernen: jetzt wollen wir die letzteren noch kurz erwähnen.

Newcomen's Maschinen waren zwar ganz vortrefflich für den Zweck geeignet, für welchen sie erbaut worden waren, nämlich die Grubenwässer aus den Bergwerken zu heben, aber als Motoren zum Betriebe irgend einer Betriebsmaschine eigneten sie sich durchaus nicht, da sie nicht im Stande waren eine Bewegung regelmäßig und in gleicher Intensität ohne Unterbrechung zu erhalten. Denn bei diesen Maschinen wirkt die treibende Kraft, als welche einzig und allein der Luftdruck anzusehen ist, nur während des Niederganges des Kolbens, während beim Aufsteigen desselben, abgesehen vom Zuge des Gegengewichtes, keine eigentliche Kraft in Wirksamkeit tritt: für das Spiel der Pumpen war dies vollkommen hinreichend, da der Hub nur während des Niederganges des Kolbens erfolgt, für eine Bewegungsmaschine dagegen, bei der keine Unterbrechung der Thätigkeit stattfinden darf, würde dies ein großer Uebelstand sein. Um dem abzuhelfen, führte Watt an Stelle der einfachwirkenden atmosphärischen Maschine die doppeltwirkende Dampfmaschine ein, bei welcher die Wirkung des Luftdruckes gänzlich ausgeschlossen und durch den Druck des hochgespannten Dampfes ersetzt ist: er schloß nämlich den Cylinder, in dem sich der Kolben bewegt, durch einen Deckel ab, durch welchen nur die Kolbenstange durch eine Oeffnung, die mittels einer Stopfbüchse gut verschlossen ist, hindurchgeht, und ließ den Dampf abwechselnd über und unter dem Kolben eintreten. Hiermit war eigentlich erst diejenige Maschine erfunden, die man im strengen Sinne des Wortes als Dampfmaschine bezeichnen darf, bei welcher nämlich nur durch die Spannkraft des Dampfes der Kolben in eine hin- und hergehende Bewegung versetzt wird, welche durch Vermittelung der Kolbenstange auf den Balancier übertragen wird.

Da bei dieser Maschine der Kolben nicht blos am Balancier zieht, sondern da er denselben bei seinem Rückgange auch schieben muß, so

genügte es nicht, daß man die Kolbenstange durch eine Kette, wie bei der Maschine von Newcomen, mit dem Balancier in Verbindung setzte, sondern man mußte diesen Zusammenhang durch feste Stäbe herstellen. Damit nun die Kolbenstange bei der Bewegung des Balancier nicht abwechselnd nach der einen und anderen Seite gebogen werde, schaltete Watt zwischen sie und den Balancier eine sehr einfache Vorrichtung, nämlich ein aus Eisenstäben zusammengesetztes Parallelogramm ein, welches wir später kennen lernen werden. Auch das Schwungrad, die Kurbel, durch welche dasselbe in Umdrehung versetzt wird, und den Regulator oder das conische Pendel, welche Vorrichtungen vor Watt bereits bekannt waren, wurden von ihm zuerst bei den Dampfmaschinen zur Anwendung gebracht. „Die Dienste, welche der Regulator zu leisten vermag, sagt Arago in einer biographischen Notiz über Watt, konnte man deutlich an einem Uhrwerke erkennen, das vor wenigen Jahren in der Baumwollenspinnerei eines sehr talentvollen Mechanikers, Namens Lee zu Manchester, aufgestellt war und durch die Dampfmaschine des Etablissements in Bewegung gesetzt wurde: dasselbe hielt sich in ganz leidlicher Uebereinstimmung mit einer danebenstehenden durch Federkraft getriebenen Uhr. Der Watt'sche Regulator und eine gut geregelte Anwendung der Windflügel, das sind die wahren Geheimnisse, durch welche die Produkte der Industrie in unserm Jahrhundert zu einem so erstaunlichen Grade der Vollkommenheit gelangt sind, durch sie wird der Gang der Dampfmaschine frei von allen Ruckungen; durch diese Mittel läßt sich die Maschine mit gleich gutem Erfolge verwenden, um Mousseline zu sticken und Anker zu schmieden, die zartesten Stoffe zu weben und die schweren Mühlsteine in die schnellste Bewegung zu versetzen. Hieraus erklärt sich auch, wie Watt sagen konnte, ohne daß man ihm eine Uebertreibung vorwerfen darf, daß er um im Falle einer Krankheit das Hin- und Herlaufen der Dienerschaft zu vermeiden sich die Arzeneien gern durch eine Vorrichtung reichen lassen würde, die durch die Dampfmaschine in Bewegung gesetzt würde."

Auch das Arbeiten mit Expansion, bei welchem der Zufluß des Dampfes schon eher abgeschnitten wird, bevor der Kolben das Ende des Cylinders erreicht hat, wurde von Watt ersonnen: ein Verfahren, durch welches nicht allein an Brennmaterial erspart wird, sondern durch welches zugleich das harte Stoßen der Maschinen sich vermeiden läßt, welches aber erst eine gewisse Vollkommenheit erlangte, als Woolff die Ma-

schinen mit doppeltem Cylinder erfunden hatte. Wir sehen hieraus, wie viele Verbesserungen durch diesen bedeutenden Physiker bei der Dampfmaschine angebracht worden sind, sodaß man ihn mit Recht als den Erfinder dieses Instrumentes, auf dem unsere ganze Industrie beruht, bezeichnen muß: dabei wollen wir aber nicht versäumen zu erwähnen, was anderen Männern zu verdanken ist. Die Windflügel, welche den Gang der Maschine regulieren sollen, hat im Jahre 1758 Keane Fitzgerald eingeführt; die Umwandlung der geradlinigen oscillierenden Bewegung des Kolbens in eine drehende durch Vermittelung von Kurbelstangen und Kurbeln wurde zuerst durch Washborough 1778 eingeführt, und als Erfinder der excentrischen Scheibe, durch welche das Schieberventil hin- und herbewegt wird, wird Murray (1801) genannt, jedoch auch diese Erfindung soll bereits früher von Watt gemacht worden sein.

Nach dieser kurzen Uebersicht über den Gang der Entdeckung der Dampfmaschine wenden wir uns nunmehr zu der Beschreibung der einzelnen Theile derselben, in den Formen, wie sie jetzt besonders zur Anwendung kommen.

Fünftes Kapitel.

Die Dampfmaschine. — Der Dampfkessel.

§ 1. Haupttheile der Dampfmaschine.

Die erste Aufgabe, welche zu erfüllen ist, besteht natürlich darin, daß man sich die zur Arbeit nothwendige Kraft verschafft, d. h. daß man eine genügende Menge von Wasserdampf entwickelt und ansammelt. Dies geschieht dadurch, daß man über einem Herde ein festgeschlossenes Gefäß, welches wenigstens theilweise mit Wasser gefüllt ist, erhitzt: dieses Gefäß heißt der Dampfkessel oder Dampferzeuger und bildet den ersten der drei wesentlichen Theile, aus welchen sich die Dampfmaschine zusammensetzt.

Aus dem Dampfkessel wird der Dampf in einen Hohlraum von cylindrischer Form geleitet, welcher durch einen beweglichen Kolben in zwei

Abtheilungen getheilt wird; durch eine besondere Einrichtung, welche vor diesem Cylinder angebracht ist, wird der Dampf so vertheilt, daß er bald von der einen und bald von der anderen Seite gegen den Kolben drückt und ihn in eine abwechselnd hin- und hergehende Bewegung versetzt; in dieser Bewegung besteht also die directe Wirkung der Maschine. Der Cylinder, der Kolben und die Theile, welche zu dem Zwecke angebracht sind, den Dampf abwechselnd in die beiden Abtheilungen des Cylinders zu leiten, bilden zusammengenommen denjenigen Theil der Maschine, welchen man als den *Bewegungsmechanismus* bezeichnen kann: sie sind die eigentliche Maschine im engeren Sinne des Wortes, über deren Spiel wir jetzt einiges vorausschicken wollen.

Wir geben in Figur 249 eine schematische Darstellung der wesentlichsten Theile einer Dampfmaschine: C stellt den Dampfkessel dar, in welchem das Wasser erhitzt wird, sodaß sich sowohl der obere Theil V des Kessels, wie auch das Leitungsrohr VV mit Dampf erfüllt, dessen Spannung von dem Grade der Erhitzung abhängt. Durch dieses Rohr strömt der Dampf in den *Dampfkasten* b, einen Hohlraum, welcher der ganzen Länge nach neben dem Cylinder liegt und aus welchem der Dampf entweder in den oberen Theil des Cylinders B oder in den unteren Theil A überströmen kann, je nachdem man den einen oder den anderen der beiden Hähne R öffnet. Nehmen wir z. B. an, der obere Hahn R sei geöffnet, der untere aber geschlossen, so dringt der Dampf in die Abtheilung B, drückt dort auf den Kolben und ertheilt demselben eine absteigende Bewegung. Schließt man nun den oberen Hahn R, sobald der Kolben am unteren Ende angelangt ist, und öffnet man den unteren, so dringt der Dampf in die Abtheilung A und sucht den Kolben wieder in die Höhe zu heben. Nun ist aber die Abtheilung B mit Dampf von derselben Spannung erfüllt und es würde deshalb die Bewegung des Cylinders unmöglich sein, wenn man nicht ein Mittel

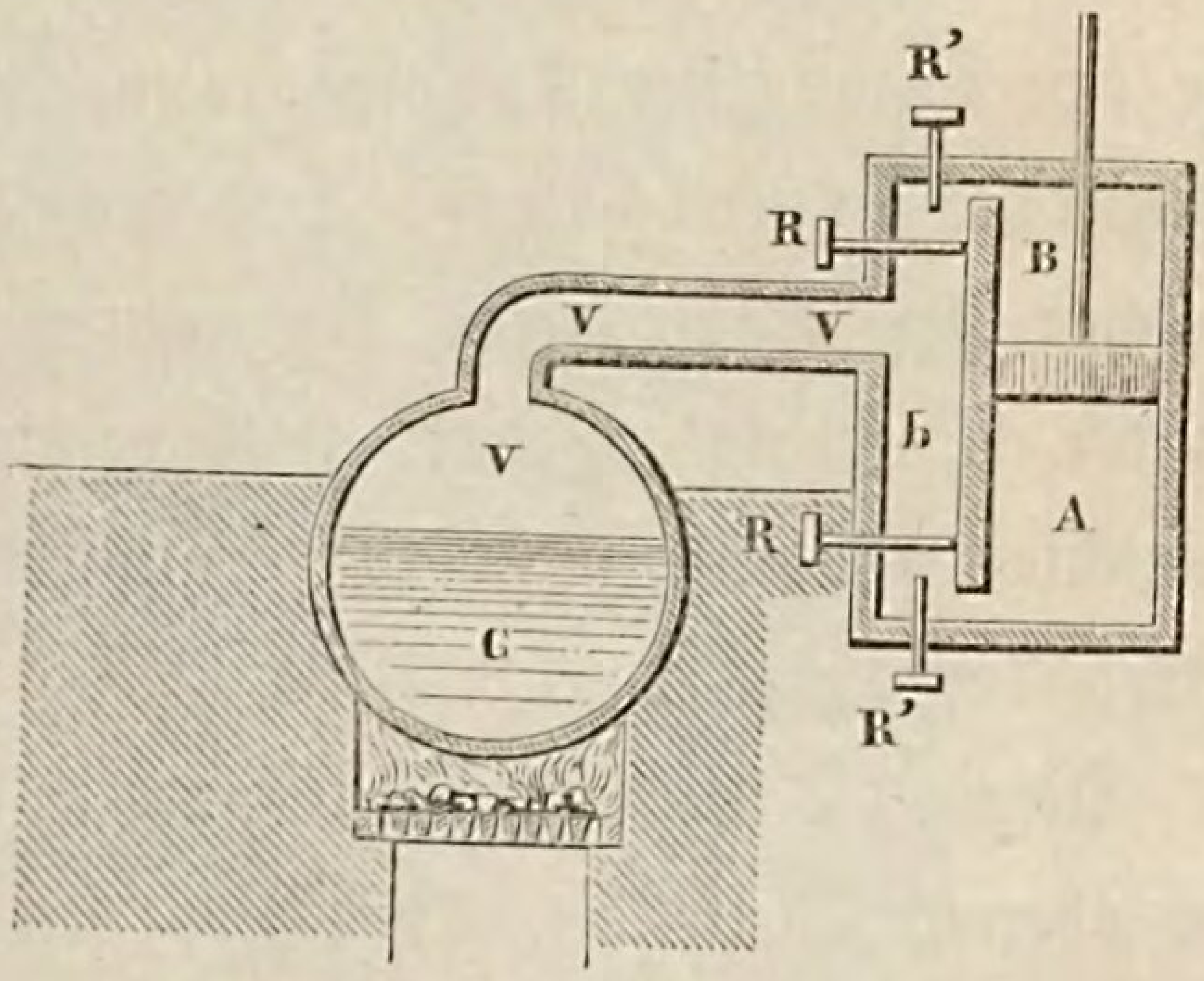


Fig. 249. Schematische Darstellung der wesentlichen Theile einer Dampfmaschine.

hätte, den Druck des Dampfes auf der Seite, nach welcher sich der Kolben hin bewegen soll, zu vernichten. Zu diesem Zwecke sind auf beiden Seiten zwei weitere Hähne R′ angebracht, welche, wenn sie geöffnet sind, die betreffende Abtheilung mit einem Gefäße in Verbindung setzen, welches luftleer ist, in welches aber beständig kaltes Wasser einspritzt, sodaß dessen Wände immer auf einer niedrigen Temperatur erhalten werden. Sobald der Dampf in dieses Gefäß, welches Condensator genannt wird, eindringt, so nimmt er fast vollständig die tropfbar flüssige Form wieder an: das Quantum, das von ihm noch übrig bleibt, besitzt nur noch eine sehr geringe Spannung, die weit niedriger ist als die Spannung des Dampfes im Dampfkessel und im Cylinder. Diese Einrichtung, welche, wie erwähnt, von Watt erfunden wurde, ist nothwendig bei den Maschinen, bei welchen der Dampf mit einer Spannung wirkt, die den Druck einer Atmosphäre nur wenig übersteigt, bei den sogenannten Niederdruckmaschinen: bei den Hochdruckmaschinen dagegen, bei welchen der Dampf eine Spannung von mehreren Atmosphären erlangt, ist der Condensator nicht nothwendig; man läßt bei diesen den verbrauchten Dampf in die Luft ausströmen und hier erfolgt die Condensation desselben.

Wenn die Maschine in Gang gesetzt werden soll, so öffnet man z. B. am oberen Theile des Cylinders den Hahn R, am unteren Theile den Hahn R′, während man oben R′, unten R geschlossen läßt: der Dampf dringt in B ein und drückt den Kolben nach Unten, während die Luft oder der bereits vorhandene Wasserdampf aus A entweicht. Ist der Kolben wieder unten angelangt, so schließt man die zuvor geöffneten Hähne und öffnet die bisher geschlossenen, wodurch der Kolben die entgegengesetzte Richtung einschlägt. In welcher Weise man die Hähne durch geeignetere Vorrichtungen ersetzt hat und wie die Umlegung derselben durch die Maschine selbst besorgt wird, werden wir später sehen.

Dies sind in den Grundzügen die beiden ersten Haupttheile der Maschine, wie sie jetzt im Gebrauche ist, bei dieser Anordnung wird also in ihnen eine abwechselnd hin- und hergehende, geradlinige Bewegung erzeugt, die hervorgerufen wird durch die Thätigkeit der elastischen Kraft des Dampfes in einem allseitig geschlossenen Cylinder, eine Thätigkeit, die sofort erlischt, sobald sich der Dampf durch die Abkühlung condensiert. Die Bewegung, welche in solcher Weise erlangt worden ist, muß nun

noch so umgewandelt werden, daß wir sie zu den gewünschten Zwecken nutzbar machen können: je nach den Bedürfnissen der Industrie, je nach der Art der Anwendung, die wir von ihr machen wollen, müssen wir sie entweder so umformen, daß sich aus ihr eine bedeutende Kraft entwickelt oder daß eine große Geschwindigkeit durch sie hervorgerufen wird; in den meisten Fällen sollen beide Ziele gleichzeitig erreicht werden. Der Mechanismus, durch welchen diese Umwandlung oder Uebertragung der Kraft herbeigeführt wird, bildet den dritten Theil der Maschine, und



Fig. 250. Dampfkessel mit 2 Siederohren: äußere Ansicht.

wir haben somit in den folgenden Kapiteln zu betrachten: 1. den Dampfkessel oder Generator, 2. den Bewegungsmechanismus, bestehend aus dem Cylinder mit Kolben und der Vorrichtung, durch welche die Vertheilung des Dampfes bewirkt wird und welche Steuerung genannt wird, und 3. den Mechanismus der Uebertragung.

§. 2. Der Dampfkessel.

Die Formen, welche man jetzt den Dampfkesseln giebt, sind so mannigfaltig, daß es nicht möglich sein würde, sie alle einzeln zu beschreiben: für den Zweck, den wir im Auge haben, genügt es mitzu-

theilen, worin die wichtigsten Systeme mit einander übereinstimmen und wodurch sie sich von einander unterscheiden. Vor Allem aber müssen wir an einem bestimmten Beispiele die Einrichtung eines Dampfkessels in ihren Einzelheiten kennen lernen, und wir wählen dazu eine Form, welche sehr weit verbreitet ist, welche in den Werkstätten und Fabriken die häufigste Anwendung findet. Die äußere Ansicht eines solchen feststehenden Dampfkessels stellt Fig. 250 dar, während wir die innere Einrichtung desselben aus Fig. 251 und 252 ersehen können.

In dem oberen Theile des aus Backsteinen aufgeführten Mauerwerkes ruht ein großes eisernes Gefäß, der **Rumpf** des Kessels, das seiner ganzen Länge nach die Gestalt eines Cylinders besitzt, an beiden Enden aber durch halbkugelförmige Deckel abgeschlossen ist. Dieser Rumpf, welcher den Haupttheil des Dampfkessels bildet, und welcher die größte Menge des Wassers enthält, das in Dampf verwandelt werden soll, ist in Figur 251 und 252 bei C im Querschnitte und im Längsschnitte zu sehen. Unter diesem Hauptgefäße befinden sich zwei oder auch drei lange, ebenfalls cylindrische Röhren B, welche mit jenem durch

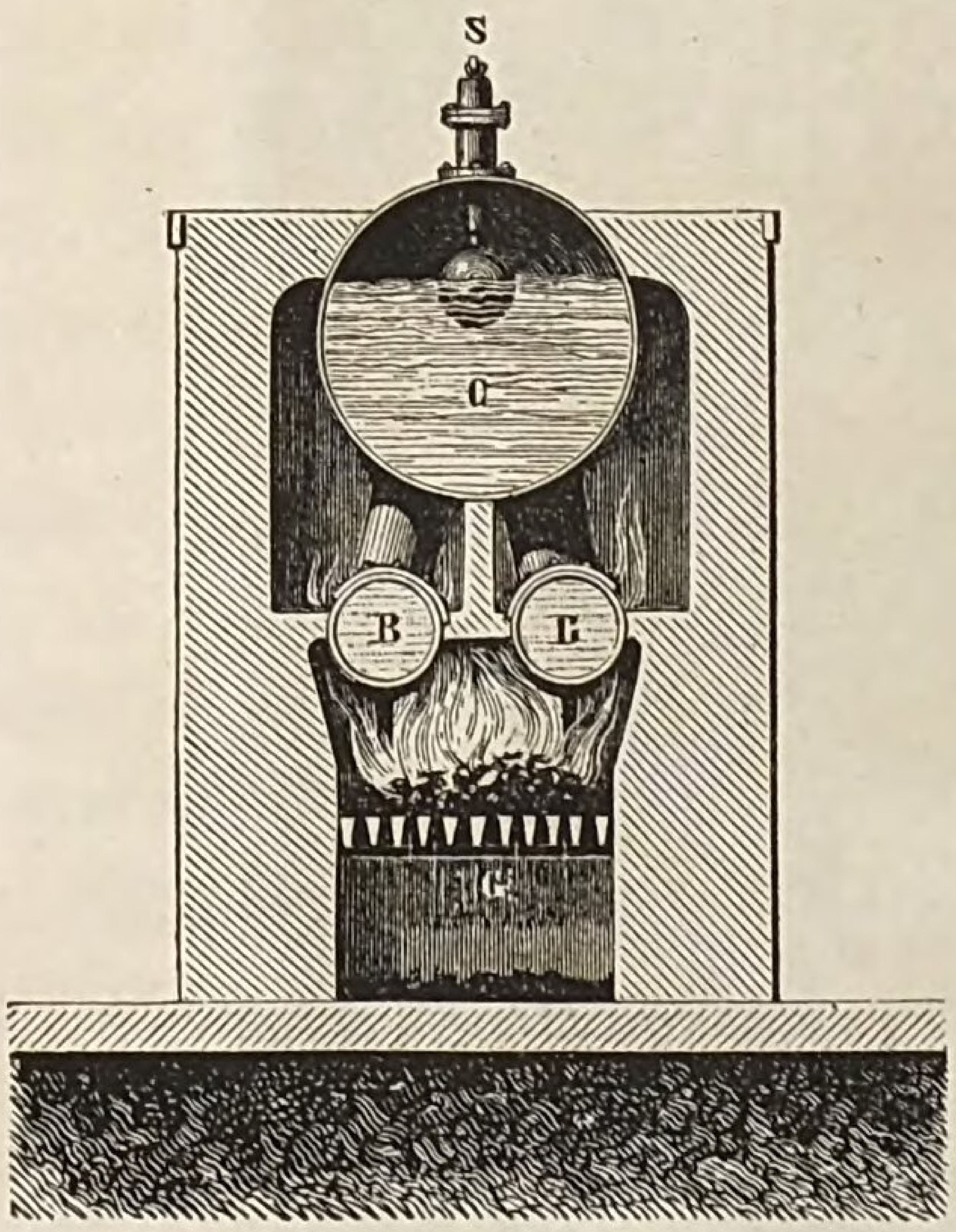


Fig. 251. Dampfkessel mit zwei Siederohren: Querschnitt.

Nebenrohre in Verbindung stehen: diese langen Röhren B nennt man **Siederohre**, jedes Verbindungsrohr aber, das aus dem Siederohre in den Kessel führt, heißt ein **Siedehals**. Die Siederohre, die stets vollständig mit Wasser erfüllt sein müssen, befinden sich unmittelbar über dem Feuerherde, sodaß ihre Wände stets von den Flammen umspielt werden: daher wird das Sieden auch nothwendig in ihrem Innern seinen Anfang nehmen und an ihren Wänden werden sich die ersten Dampfblasen ansetzen, die dann in den Kessel aufsteigen; hierin findet ihr Name seine Rechtfertigung.

Welche Dimensionen der Feuerherd nebst Rost und Aschenloch haben

muß und wie derselbe unter dem Kessel anzubringen ist, läßt sich aus den Abbildungen so deutlich ersehen, daß es keines weiteren Wortes der Erklärung bedarf. Auch den Schornstein finden wir daselbst wenigstens in seinem unteren Theile bei U dargestellt und man kann den Weg, den der Rauch und die durch die Verbrennung entwickelten Gase einschlagen, vom Feuerherde an bis in den Schornstein verfolgen: dieselben finden ihren Abzug durch die Heizkanäle oder Züge c, welche zwischen

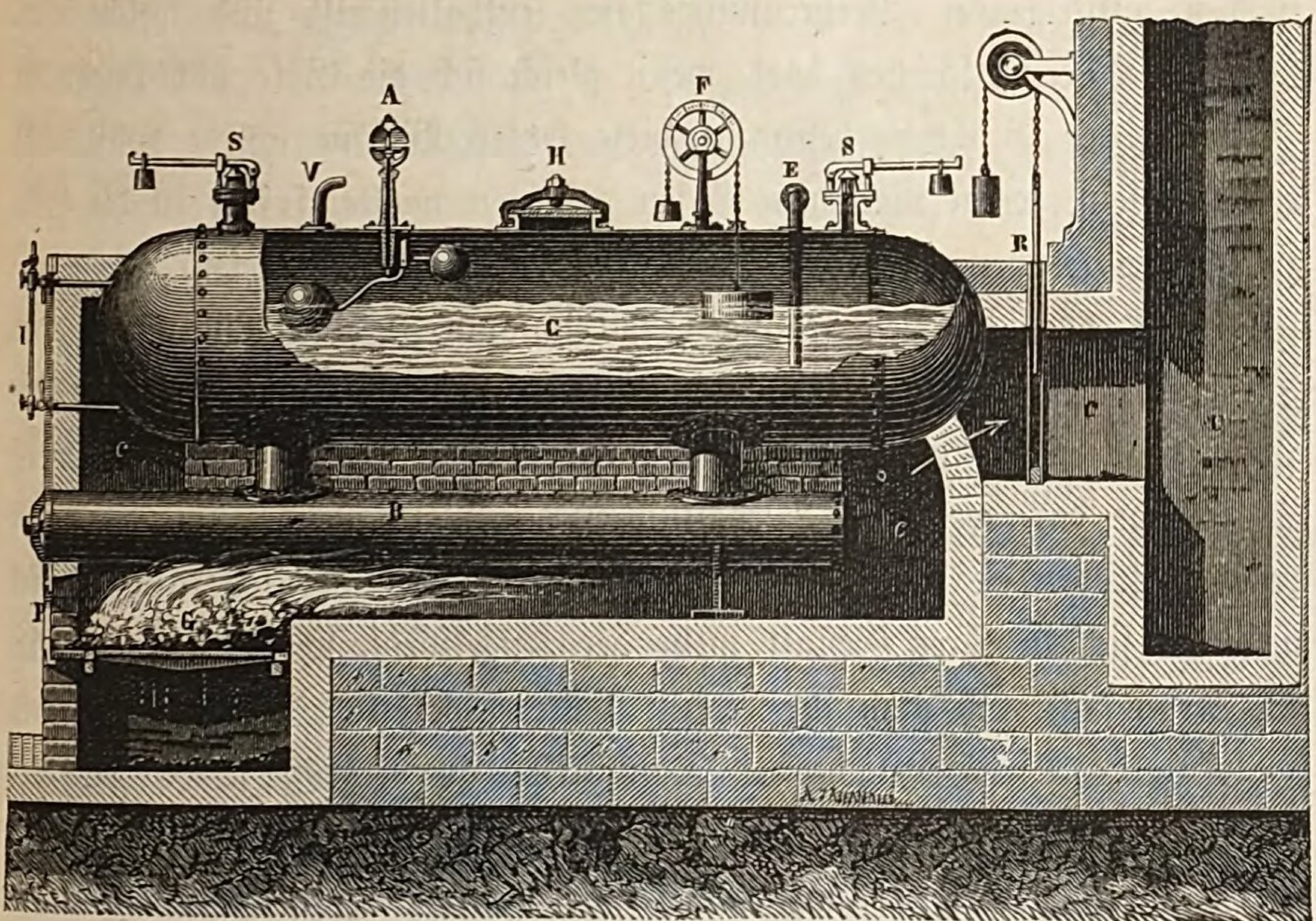


Fig. 252. Dampfkessel mit zwei Siederohren: Längsschnitt.
A Schwimmer mit Alarmpfeife. — B Siederohr. — C Rumpf des Kessels. — E Speiserohr. — F Wasserstandmesser mit Schwimmer. — G. Feuerung. — H Einsteigerohr für die Reinigung. — I Wasserstandsrohr. — R Zugklappe. — S, S Sicherheitsventile. — U Schornstein. — c Heizkanäle. — P Ofenthüre. — V Dampfaufnahmerohr.

den Sieveröhren, dem Rumpfe des Dampfkessels und dem Mauerwerke angebracht sind. Es ist von großer Wichtigkeit, daß diese Kanäle in der richtigen Weise vertheilt sind, wenn das Heizungsmaterial gehörig ausgenutzt werden soll: wir sehen den ersten Kanal unter den Siederohren so angebracht, daß er die Flamme und die erhitzten Gase zwingt bis an das Ende des Ofens vorzudringen, wobei die Siederohre selbst zunächst erhitzt werden. Dort angelangt steigen die Gase in den einen der beiden Kanäle, welche an der Seite etwas höher angebracht sind,

und geben daselbst einen weiteren Theil der Wärme, die ihnen noch geblieben ist, an die Wand des Kessels, mit welcher sie in Berührung sind, ab. Endlich werden sie durch einen dritten Verbindungsweg in den anderen seitlichen Kanal geführt und erst von diesem aus entweichen sie in den Schornstein. Auf diese Weise macht man in möglichst hohem Grade die durch die Verbrennung erzeugte Wärme nutzbar, indem man nicht allein die Flamme direct gegen die Wände der Siederohre schlagen läßt, sondern indem man auch noch die Wärme zu gewinnen sucht, welche in den aufsteigenden Verbrennungsgasen enthalten ist und welche man keineswegs gering schätzen darf, wenn gleich sich die Gase nicht mehr im Zustande der Glühhitze befinden; diese letztere Wärme würde vollständig verloren sein, wenn man den Gasen gestatten wollte, sofort in die freie Luft zu entweichen, sobald sie aus dem Heizraume austreten.

Ganz ähnliche Ueberlegungen haben auch zu der Einführung der Siederohre selbst geführt: bei den älteren Dampfmaschinen hatten die Kessel eine viel einfachere Gestalt, und boten der Einwirkung des Feuers eine Fläche dar, welche im Verhältniß zu der Wassermenge, die in Dampf verwandelt werden sollte, eine nur geringe Ausdehnung hatte; die Kessel näherten sich in ihrer Gestalt mehr der Kugelform, wie aus Figur 248 zu ersehen ist, und auch ihr Boden hatte gewöhnlich die Gestalt einer Halbkugel. Die Heizfläche der Dampfkessel zu vergrößern war eine der ersten Aufgaben, welche sich die Erbauer der Dampfmaschinen, besonders zuerst Watt, stellten: damit wurde schon ein Beitrag zur Lösung der allgemeineren Aufgabe, nämlich der größtmöglichen Ersparniß an Brennmaterial geliefert, ein Problem, das trotz vieler mit Erfolg gekrönter Untersuchungen und trotz wesentlicher Verbesserungen, die bei den Heizvorrichtungen im Laufe der Zeit angebracht worden sind, noch keineswegs in so vollkommenem Grade gelöst worden ist, als es wohl die Gewerbtreibenden wünschen möchten, die sich der Dampfmaschine bedienen.

Nach dem, was wir gesagt haben, müßte man meinen, daß die Ausnutzung des Heizmaterials am vollkommensten sein würde, wenn man die Einrichtung so treffen könnte, daß die Verbrennungsgase bei ihrer Ankunft in dem Schornsteine sich bis zur Temperatur der äußeren Luft abgekühlt hätten, denn dann müßten sie alle Wärme, die sich durch die Verbrennung entwickelt, zuvor an den Dampfkessel abgegeben haben. Dies zu erreichen ist aber absolut unmöglich, denn wenn dieser Fall einträte,

so würde gleichzeitig auch der Luftzug sofort unterbrochen, oder wenigstens sehr verlangsamt, und ohne diesen Luftzug, durch den sich die Luft beständig erneuert, würde das Feuer erlöschen. Wenn die Steinkohle schlecht brennt, wie es der Fall ist, wenn der Luftzug nicht lebhaft genug und die Hitze zu gering ist, so entwickeln sich aus ihr Gase, in denen Kohlenstoff und Wasserstoff in verschiedenen Verhältnissen mit einander verbunden sind: dieselben können nicht weiter vollständig verbrennen, sondern sie zersetzen sich nur und geben den dicken schwarzen Rauch, den man besonders mit Heftigkeit aufsteigen sieht, so oft eine etwas beträchtlichere Menge frischen Brennmaterials in den Ofen eingeführt und dadurch die Temperatur desselben plötzlich erniedrigt wird. Wenn die heißen Gase nach dem Schornsteine hin entweichen, so dienen sie also dazu, den Luftzug zu beleben: die Wärme, welche zu ihrer Erhitzung aufgebraucht wird, ist mithin als ein Aufwand anzusehen, der bis zu einer gewissen Grenze nothwendig ist, wenngleich durch sie das Wasser nicht unmittelbar erwärmt, noch direct Dampf entwickelt wird. Wie in so vielen Fällen im industriellen Leben muß man auch hier gewisse Kosten aufwenden, ohne durch dieselben einen directen Nutzen zu erzielen, und nicht selten geschieht es, daß eine Abänderung in der Einrichtung, welche in gewisser Beziehung als eine wesentliche Verbesserung erscheint, in anderer Hinsicht so viele Nachtheile mit sich bringt, daß man sie besser nicht einführte.

Wenden wir uns jetzt zu der Einrichtung des Schornsteines, von dessen Gestalt und Größe die Lebhaftigkeit des Luftzuges abhängt. Im Allgemeinen kann man sagen, daß, je höher der Schornstein ist bei gleichem Querschnitte, auch der Luftzug um so lebhafter wird, wenn auch im Uebrigen die Bedingungen der Verbrennung dieselben bleiben: durch Versuche hat man ermittelt, daß innerhalb gewisser Grenzen die Intensität des Luftzuges mit der Quadratwurzel aus der Höhe wächst. Doch nicht allein von der Höhe des Schornsteines hängt der Luftzug ab, sondern andererseits auch von dem Volumen der Luft, welchem er den Durchgang gestattet, d. h. also mit anderen Worten von seinem Querschnitte. Welche Größe man letzteren am besten geben muß, darüber hat Darcet folgende aus den Beobachtungen abgeleitete Regel aufgestellt: soll der Schornstein eine Höhe von 20^{m} haben, so theilt man die Anzahl von Kilogrammen Kohle, welche stündlich verbrannt werden sollen durch $4\frac{1}{2}$; die Zahl, welche man bei dieser Division findet, giebt die Anzahl

der Quadratdecimeter an, welche der Querschnitt enthalten muß: bei einer Höhe von 30 m ist als Divisor 6 statt 4½ zu nehmen. Soll z. B. eine Maschine so beschaffen sein, daß in ihr stündlich 180 Kgr. Kohle verbrannt werden, und soll der Schornstein derselben eine Höhe von 20 m haben, so zeigt die Division von 180 durch 4½, daß der Querschnitt 40 Quadratdecimeter betragen muß; bei quadratischer Form muß also jede Seite 63 cm lang sein, bei kreisförmigem Querschnitte dagegen muß der Durchmesser 71 cm betragen.

Es kommt bisweilen vor, daß es sich nothwendig macht, den Luftzug etwas zu verringern; zu diesem Zwecke befindet sich an der Stelle, wo die Züge der Feuerung in den Schornstein einmünden, ein beweglicher Schieber aus Blech oder eine Zugklappe, welche man in Fig. 252 bei R erblickt: durch Einschieben dieser Klappe läßt sich die Oeffnung, durch welche der Rauch und die Verbrennungsgase in den Schornstein entweichen, beliebig verkleinern. Selbstverständlich ist auch der Rost, die Gestalt und Größe seiner Stäbe, und die Weite der Zwischenräume, welche zwischen ihnen frei bleiben, von sehr großem Einfluß darauf, daß der Ofen gute Dienste leiste, daß das Feuer lebhaft brenne und daß mithin im Verhältniß zu dem verbrauchten Brennmateriale eine möglichst große Menge Wasserdampfes entwickelt werde: alle diese Beziehungen müssen nach den Principien, welche durch sorgfältige Beobachtungen aufgefunden worden sind, vorausberechnet werden und nach den Ergebnissen dieser Rechnung sind die Einrichtungen anzuordnen.

Nur wenige Worte wollen wir jetzt im Anschlusse an die Betrachtung der Feuerungsanlagen bei den Dampfmaschinen über ein Problem hinzufügen, dessen Lösung eine Zeit lang in den Kreisen der Industriellen mit großem Eifer gesucht wurde: wir meinen das Problem der Rauchverbrennung oder der Construction der rauchverzehrenden Herde. Schon diese Bezeichnung enthält eigentlich einen Widerspruch, denn niemals kann ein Herd, auf welchem sich Rauch entwickelt, denselben zerstören oder sich auf anderem Wege desselben entledigen als dadurch, daß durch den Luftzug der Rauch in den Schornstein oder durch die Thüre der Feuerung fortgetrieben wird: tritt letzterer Fall ein, so ist dies immer ein Zeichen, daß der Luftzug mangelhaft reguliert ist. Die Aufgabe, die man lösen wollte, bestand aber auch gar nicht darin, daß man den einmal gebildeten Rauch aufzehren lassen wollte, sondern man suchte die

Feuerherde so einzurichten, daß sich gar nicht erst Rauch bilden konnte, oder richtiger ausgedrückt, daß die Gase, welche sich aus dem Heizungsmateriale entwickeln, möglichst vollständig verbrannt werden. Wenn der Luftzug nicht eine genügende Menge von Luft herbeiführt, so bilden sich aus den unvollständig verbrannten Kohlenwasserstoff-Verbindungen die dicken schwarzen Rauchmassen, die nicht allein durch ihre Unsauberkeit lästig sind, sondern die der Besitzer der Maschinen auch deshalb sehr ungern sich entwickeln sieht, weil er wohl weiß, daß mit diesen dicken Wolken gerade die besten Bestandtheile der Kohle verloren gehen, ohne Wärme hervorgebracht zu haben. Aber auch dann, wenn man keinen Rauch erblickt, kann die mangelhafte Verbrennung sehr große Verluste an Heizungsmaterial herbeiführen: denn außer den Kohlenwasserstoffen, welche bei der unvollkommenen Verbrennung den Rauch liefern, soll sich auch der Kohlenstoff mit dem durch den Luftzug herbeigeführten Sauerstoffe verbinden, und zwar ist der Erfolg am günstigsten, wenn das Product dieser Verbindung Kohlensäure ist. Wenn nun der Luftzug nicht genügt, so bildet sich nur Kohlenoxydgas, eine Verbindung, welche bei gleicher Menge des Kohlenstoffes nur halb so viel Sauerstoff enthält als die Kohlensäure, dieses Kohlenoxydgas entweicht durch den Schornstein ohne sich noch weiter mit Sauerstoff zu verbinden, sodaß also die Verbrennung eine unvollkommene ist und das Heizmaterial bei Weitem nicht diejenige Wärme hergiebt, die es bei vollständiger Verbrennung liefern würde. Also auch bei rauchverzehrenden Herden kann trotzdem, daß man keinen Rauch aufsteigen sieht, ein nicht unbeträchtlicher Verlust an Heizkraft des Brennmaterials eintreten.

Soll die Dampfmaschine in Gang gesetzt werden, so füllt man die Siederohre vollständig, den Rumpf des Kessels aber nur bis zu einer gewissen Höhe mit Wasser, sodaß in letzterem über dem Wasser noch ein Raum, welcher Dampfraum, Dampfkammer oder Kesseldom genannt wird, frei bleibt, in welchem sich der Dampf ansammelt, bevor er in die Maschinentheile strömt, in denen er durch seine Kraft wirken soll. Die Dampfkammer muß in einem gewissen Größenverhältnisse zu dem Gesammtinhalte des Kessels stehen, und die Erfahrung hat gelehrt, daß es am günstigsten ist, wenn man sie auf ungefähr ein Drittel des Gesammtraumes bemißt. Der Grund, daß man einen verhältnißmäßig so großen Raum freiläßt, ist ein doppelter: denn einmal ist es nicht

gut, wenn bei einem einzelnen Hube des Kolbens ein zu großer Bruchtheil des entwickelten Dampfes mit einem Male verbraucht wird und sich aus dem Wasser erst neu bilden muß, weil dadurch der Gang der Maschine ein unregelmäßiger wird; zweitens aber würde der Dampf, wenn die Dampfkammer zu klein ist, auch leicht flüssiges Wasser in Form von feinen Tropfen oder Nebel mit sich fortreißen und in den Dampfcylinder hinüberführen, was durchaus vermieden werden muß.

Was das Verhältniß betrifft, in welchem die Größe des ganzen inneren Hohlraumes des Dampfkessels zu dem Volumen von Dampf stehen muß, welches bei der normalen Thätigkeit der Maschine in Zeit einer Stunde geliefert werden soll, so wird dasselbe besonders mit Rücksicht darauf bestimmt, daß eine plötzliche starke Aenderung der Temperatur durchaus zu vermeiden ist: eine solche Aenderung würde aber erfolgen, wenn man bei der Speisung des Kessels, die von Zeit zu Zeit eintreten muß, und bei welcher in der Regel Wasser von verhältnißmäßig niedriger Temperatur dem Kessel zugeführt wird, mit einem Male eine zu große Wassermenge einfließen lassen müßte.

Die ungeheure Kraft, welche der Wasserdampf entwickelt, wenn er auf eine hohe Temperatur erhitzt worden ist, übt ihre Wirkung zuerst auf die inneren Wände des Dampfkessels aus und es ist daher nothwendig, daß dieselben eine Widerstandskraft besitzen, welche von der Gestalt, von der Dicke und von der Güte der verwendeten Materialien abhängig ist. Diejenige Gestalt, bei welcher der Widerstand unter sonst gleichen Bedingungen am größten ist, würde freilich die der Kugel sein; doch auch ein Cylinder der beiderseits durch Halbkugeln geschlossen ist, leistet fast denselben Widerstand. Als Material gebraucht man ganz allgemein starke Eisenplatten bester Sorte, sogenannte Kesselplatten, welche mit der größten Sorgfalt sehr fest mit einander verbolzt werden. In neuerer Zeit hat man auch angefangen bisweilen Stahl an die Stelle des Eisens zu setzen, doch beschränkt sich dieser Gebrauch gewöhnlich nur auf einzelne Theile des Kessels: in allen ähnlichen Fragen hat auch der Kostenpunkt immer ein Wort mit zu sprechen.

Früher wurde durch gesetzliche Vorschriften die Dicke der Kesselplatten bestimmt, die zu einem Dampfkessel verwendet werden durften, wenn der Druck, den derselbe auszuhalten hat, höchstens eine bestimmte Anzahl Atmosphären betrug: jetzt besteht in den meisten Ländern dagegen

das Gesetz, daß jeder Kessel, bevor er angewendet werden darf, mittels der hydraulischen Presse auf einen Druck zu prüfen ist, welcher in einem bestimmten Verhältnisse höher ist als derjenige, den der Kessel bei seinem Gebrauche höchstens auszuhalten hat. Bei der Anfertigung der Dampfkessel hält man sich jetzt meistens noch an die früher gesetzlich vorgeschriebene Regel, nach welcher man die Dicke der Kesselwände auf folgende Weise berechnet: man multipliciere $1{,}8^{\mathrm{mm}}$ mit dem in Metern ausgedrückten Durchmesser des Kessels und das erhaltene Product weiter mit der Anzahl Atmosphären, die der Kessel auszuhalten hat; zu dem erhaltenen Resultate addiert man noch 3^{mm}, so giebt dies die Wandstärke der Kesselplatten. Soll z. B. ein Kessel von $1{,}2^{\mathrm{m}}$ Durchmesser einen Druck bis zu $4\frac{1}{2}$ Atmosphären aushalten, so rechnet man $1{,}8^{\mathrm{mm}} \times 1{,}2 \times 4\frac{1}{2} = 9{,}72^{\mathrm{mm}}$; hierzu zählt man 3^{mm}, und erhält somit die Wandstärke $12{,}7^{\mathrm{mm}}$.

§ 3. Sicherheitsapparate.

Wir haben erwähnt, daß der Dampfkessel immer mit der genügenden Menge Wasser gefüllt sein muß: diese erfüllt, auf die gehörige Temperatur erhitzt, die Dampfkammer mit Dampf von solchem Drucke, welcher zum Betriebe der Maschine erforderlich ist. Es ist nun von der höchsten Wichtigkeit, daß das Niveau des Wassers im Dampfkessel sich weder zu stark herabsenkt, noch daß es sich über eine bestimmte Grenze erhebt: in beiden Fällen läuft man Gefahr, daß Umstände eintreten, welche die Explosion des Kessels herbeiführen können. Man hat daher verschiedene Apparate ersonnen, durch welche sich erkennen läßt, bis zu welcher Höhe das Wasser im Dampfkessel hinaufreicht: diese Apparate, welche *Wasserstandmesser* heißen, kann man mit Fug und Recht zu den *Sicherheitsapparaten* rechnen. Sehr häufig wendet man an demselben Kessel mehrere Wasserstandsmesser verschiedener Construction an.

In Figur 252 sehen wir bei I eine Röhre aus Krystallglas, welche neben dem Kessel an der Außenseite in aufrechter Stellung angebracht und in zwei metallene knieförmige Röhren so eingesetzt ist, daß sie mit beiden Enden mit dem Kessel in Verbindung steht. In diese Röhre, welche *Wasserstandrohr* heißt, dringt das Wasser aus dem Kessel ein und erhebt sich in ihr nach dem Gesetze der communicierenden Röhren

bis zu gleicher Höhe, wie im Kessel selbst. Damit der Maschinist beständig genau erkennen kann, wie hoch das Wasser im Kessel steht, muß diese Röhre, welche er nie ganz aus dem Auge lassen darf, immer sehr durchsichtig sein: damit dieselbe nun bequem gereinigt werden kann, lassen sich die Kanäle, welche in den Kessel führen, durch Hähne absperren, worauf man dadurch, daß man zwei andere Hähne öffnet, leicht zu der Röhre gelangt.

Dabei kann es aber immerhin noch vorkommen, daß durch irgend welches zufällig eintretende Ereigniß einmal in kurzer Zeit mehr Dampf entwickelt wird, als gewöhnlich, oder daß die Thätigkeit der Speisepumpe irgend welche Störung erlitten hat und nicht die genügende Menge Wasser liefert: in beiden Fällen aber wird ein plötzliches Sinken eintreten, und dies kann sich leicht gerade zu einer Zeit ereignen, wo der Maschinist anderweitig beschäftigt ist und das Wasserstandrohr gerade nicht beobachten kann. Für solche Fälle muß man noch andere Vorrichtungen anbringen, welche das Sinken des Wasserstandes auf andere Weise bemerklich machen, und man wählt dazu besonders solche Apparate, bei denen Körper, die auf dem Wasser schwimmen, mit dem Spiegel desselben aufsteigen und herabsinken; dabei bringt man öfters Vorrichtungen an, durch welche das zu tiefe Herabsinken des Niveaus durch auffällige Signale bemerklich gemacht wird. Der Schwimmer (Fig. 252, A) besteht gewöhnlich aus einer hohlen Metallkugel, die am Ende eines Hebels befestigt ist, welcher sich um einen Punkt dreht und auf der anderen Seite ein Gegengewicht trägt. Hält sich der Wasserstand innerhalb der Grenzen, die er nicht überschreiten soll, so drückt der Hebel gegen ein Ventil, das sich im Deckel des Kessels befindet, und hält dasselbe geschlossen: sinkt dagegen das Niveau bis zu der Grenze herab, die es höchstens erreichen soll, so öffnet sich jenes Ventil, der Dampf entweicht durch dasselbe und trifft auf seinem Wege gegen die scharfen Ränder einer kleinen Glocke, an denen er sich bricht. Dabei wird jener wohlbekannte schrille Ton hörbar, welcher so lange anhält, bis das Niveau des Wassers durch Zufluß wieder gehoben und das Ventil durch den Hebel wieder geschlossen ist. Diese Vorrichtung heißt Schwimmer mit Alarmpfeife. Ein Schwimmer anderer Construction (Fig. 252, F) trägt ein Stäbchen, das durch eine Stopfbüchse im Deckel hindurchgeht und an einer Kette befestigt ist, welche sich um ein Rad schlingt und

andererseits ein Gegengewicht trägt: an dem Rade ist ein Zeiger befestigt, welcher den Stand des Wassers durch seine Einstellung auf einem Theilkreise anzeigt.

Ein anderer Apparat, der demselben Zwecke dient und jetzt nicht selten zur Anwendung gebracht wird, ist der magnetische Wasserstandsmesser von Lethuilier-Pinel (Fig. 253), bei welchem der an dem Schwimmer befestigte Stab einen Magneten in die Höhe schiebt oder wieder herabzieht, je nach dem wechselnden Stande des Niveaus im Kessel. Neben diesem Magneten an der Außenseite des Rohres, in welchem er sich bewegt, schwebt eine Magnetnadel, deren Pol sich immer dem Pole des Magneten gegenüberstellt, sodaß also diese Nadel durch ihre Stellung zugleich auch die Stellung des Magneten, und damit die Höhe des Niveaus im Kessel angiebt; sinkt das Niveau zu tief, sodaß durch den Wassermangel Gefahr entstehen kann, so drückt der Magnet auf einen Hebel und öffnet durch dessen Vermittelung ein Ventil, das durch eine Feder geschlossen gehalten wird. Der entweichende Dampf aber bringt eine Alarmpfeife zum Tönen. Der Hauptvorzug dieses Wasserstandmessers besteht darin, daß der Raum, in dem sich der Magnet bewegt, nach Außen vollständig abgeschlossen ist, mit dem Kessel aber in freier Verbindung steht, sodaß der Stab des Schwimmers nicht durch eine Stopfbüchse geführt zu werden braucht, welche ihn in seinen Bewegungen sehr hindert.

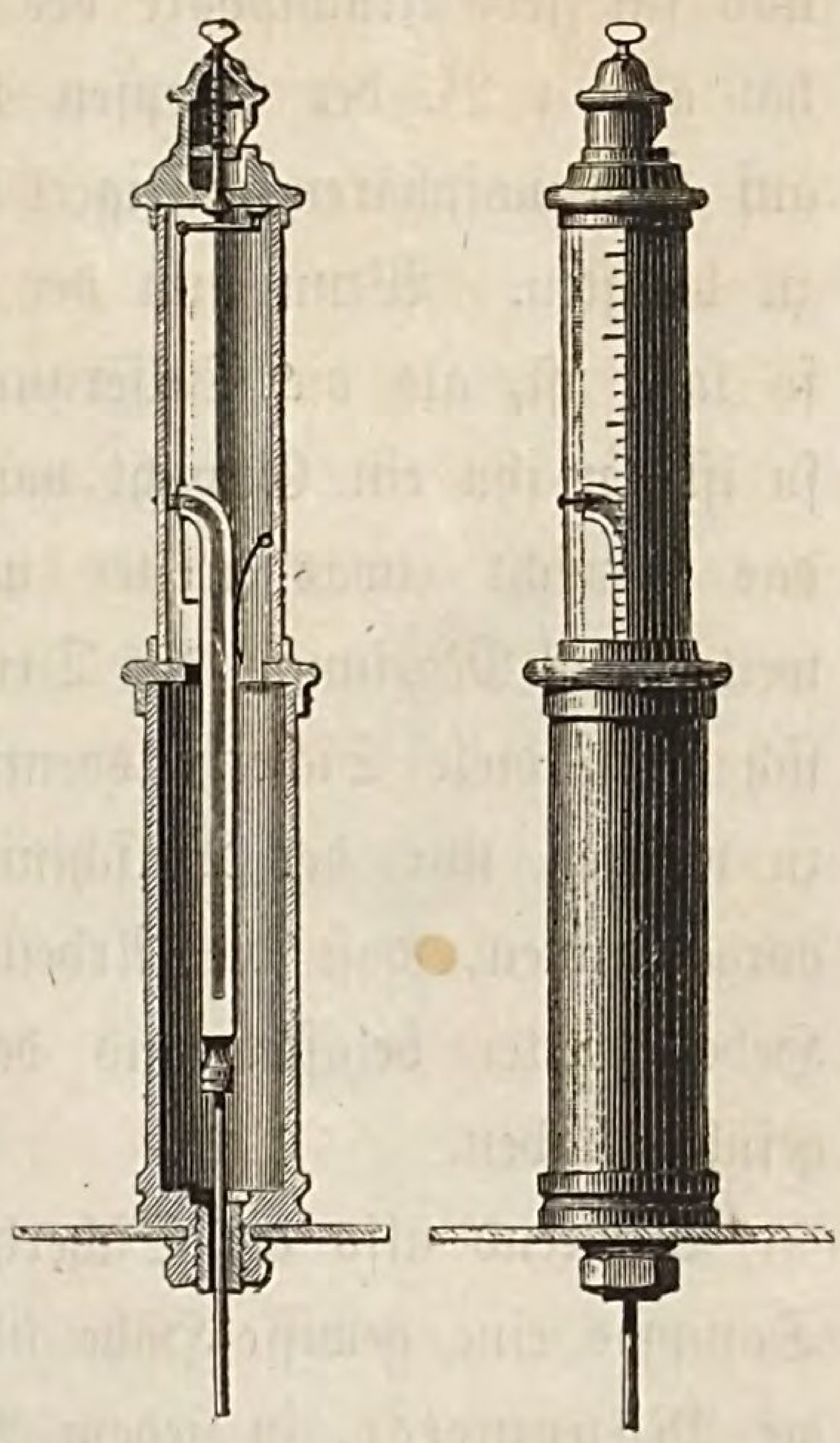


Fig. 253. Magnetischer Wasserstandsmesser von Lethuilier-Pinel.

Wenn wir bisher die Apparate kennen gelernt haben, durch welche sich die Höhe des Niveaus, bis zu welchem das Wasser im Kessel hinaufreicht, beobachten läßt, so wenden wir uns nun zu denjenigen Vorrichtungen, durch welche der Druck des Dampfes beobachtet und reguliert werden kann. Da jeder Dampfkessel höchstens einen Druck von einer bestimmten Anzahl Atmosphären aushalten soll, so bringt man an ihm zunächst Sicherheitsventile von der Form an, wie sie in Fig. 252

bei S, S dargestellt sind, welche sich öffnen, sobald der Druck die vorgeschriebene Grenze erreicht hat, und den Dampf ausströmen lassen. Bei denselben wird ein eiserner Stopfen durch einen Hebel, der mit einem Gewichte belastet ist, gegen die Oeffnung einer aus dem Kessel aufsteigenden Röhre gedrückt, und zwar ist jenes Gewicht so berechnet, daß der Druck für jeden Quadratcentimeter der Oberfläche des Stopfens und für jede Atmosphäre des höchsten Dampfdruckes 1,033 Kgr. beträgt: hat also z. B. der Stopfen 4 qcm. Oberfläche und darf der Druck bis auf 6 Atmosphären gesteigert werden, so ist der Stopfen mit 24,8 Kgr. zu belasten. Wenn nun der Hebelarm, der das Gewicht trägt 8 mal so lang ist, als die Entfernung des Stopfens vom Drehpunkte beträgt, so ist an ihn ein Gewicht von 3,1 Kgr. anzuhängen; dadurch daß man das Gewicht etwas weiter nach dem Drehpunkte hinschiebt, läßt sich weiter das Maximum des Druckes noch etwas herabsetzen. Es empfiehlt sich sehr, diese Sicherheitsventile in verschlossenen Räumen aufzustellen, zu welchen nur der Maschinist gelangen kann, denn es ist mehrmals vorgekommen, daß die Arbeiter aus Unkenntniß und Uebermuth diese Hebel weiter belastet und dadurch die Explosion des Kessels herbeigeführt haben.

Während also die Sicherheitsventile verhindern, daß der Druck des Dampfes eine gewisse Höhe übersteigt, so gestatten andere Vorrichtungen, die Manometer, in jedem Augenblicke zu erkennen, welcher Druck im Kessel wirklich vorhanden ist. Bei kleineren Maschinen mit geringer Spannung des Dampfes läßt sich recht wohl das offene Luftmanometer (Fig. 254) anwenden: dasselbe besteht aus einem mit Quecksilber gefüllten Gefäße a, das mit dem Dampfkessel durch ein Rohr in Verbindung steht; in das Quecksilber taucht ein Glasrohr b, das durch eine am Deckel angebrachte Stopfbüchse hindurchgeht und bis nahe an den Boden hinabreicht. Sobald nun der Druck des Dampfes eine Atmosphäre übersteigt, so treibt er das Quecksilber in die Höhe und man kann nun aus dem Stande desselben den Druck des Dampfes bestimmen: dabei darf man nicht vergessen, daß zu dem Drucke, den die Messung der Quecksilbersäule ergiebt, immer noch eine Atmosphäre zugezählt werden muß. Wie man aus der ganzen Einrichtung des Apparates ersieht, läßt sich derselbe nicht zur Anwendung bringen, wenn der Druck einigermaßen groß ist, da für jede neue Atmosphäre das Quecksilber um 76 cm

steigen müßte: soll eine Maschine z. B. mit 4 Atmosphären arbeiten, soll also der Dampfdruck den äußeren Luftdruck um 3 Atmosphären übersteigen, so müßte das Glasrohr schon eine Höhe von 2,28 m, d. h. weit mehr als Manneshöhe haben.

In diesen Fällen wendet man in der Regel das geschlossene Luftmanometer (Fig. 255 und 256) an, welches aus einer gebogenen

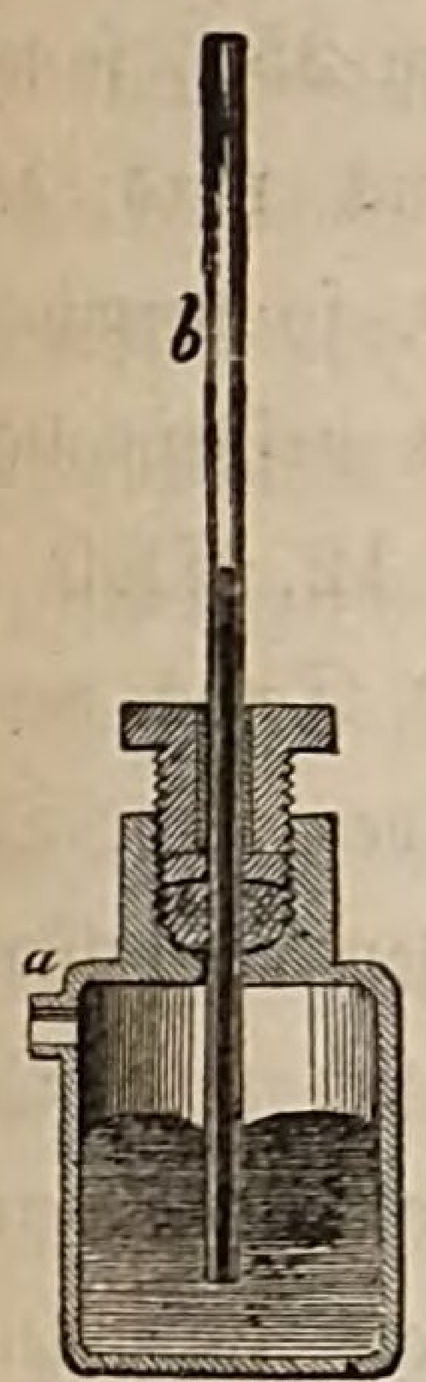


Fig. 254. Offenes Luftmanometer.

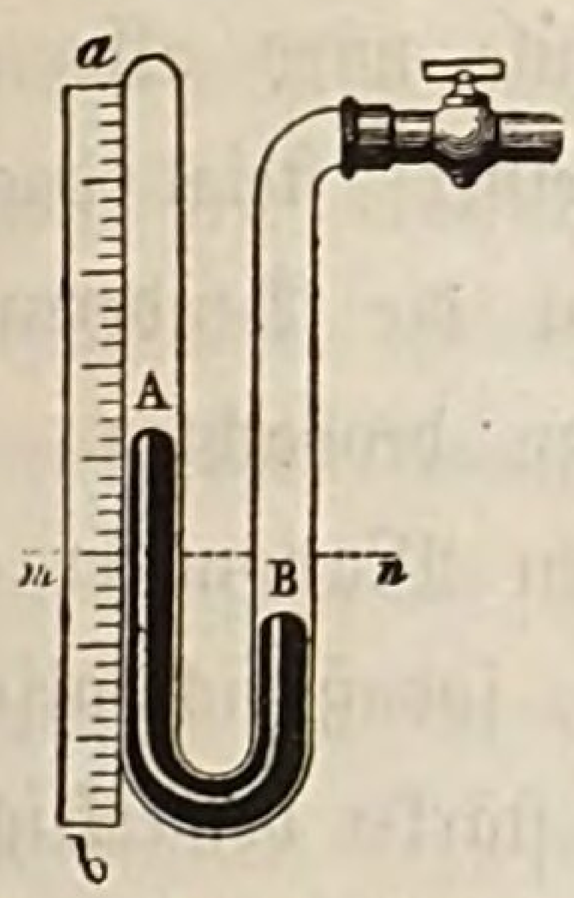
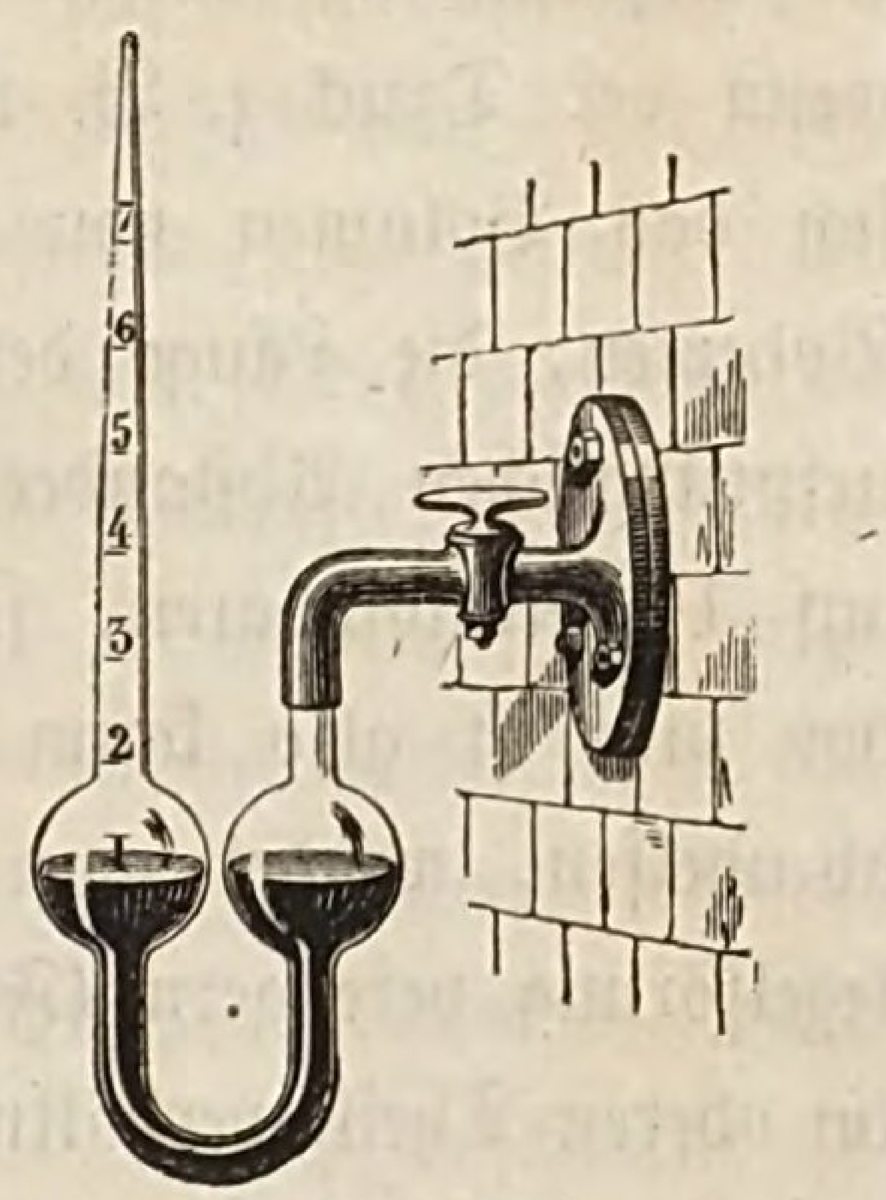


Fig. 255. Geschlossenes cylindrisches Luftmanometer.


Fig. 256. Geschlossenes conisches Luftmanometer.

starken Glasröhre besteht, deren einer Schenkel geschlossen ist, während der andere Schenkel mit dem inneren Kesselraume in Verbindung gesetzt werden kann. In der Biegung der Röhre befindet sich Quecksilber, durch welches in dem geschlossenen Theile A ein Quantum Luft abgesperrt ist: die Mengen der Luft und des Quecksilbers sind dabei so reguliert, daß letzteres sich auf beiden Seiten in dasselbe Niveau mn einstellt, sobald bei B der Druck von nur einer Atmosphäre auf ihm lastet. Steigt der Druck bei B, so wird die Luft in A in gleichem Maße auf einen kleineren Raum zusammengepreßt, die Quecksilbersäule steigt auf dieser Seite, während sie auf der anderen Seite fällt, und aus ihrem Stande läßt sich die Stärke des Druckes bestimmen. Nach dem Gesetze nämlich, das fast gleichzeitig von Mariotte und von Boyle aufgefunden wurde und das gewöhnlich mit dem Namen des Ersteren bezeichnet wird, steht das Volumen der Luft im umgekehrten Verhältnisse mit dem Drucke: ist also die Luft auf die Hälfte, das Drittel, das Viertel des Raumes zusammengedrängt, so ist dies ein Zeichen, daß

der Druck doppelt, dreimal, viermal so groß ist, daß er also im vorliegenden Falle 2, 3, 4 Atmosphären beträgt. Hierbei ist aber weiter noch zu beachten, daß man nicht vergessen darf zu dem Drucke, den die Beobachtung des Luftvolumens ergiebt, noch den Druck zu addieren, der sich aus dem Unterschiede des Niveaus der Quecksilbersäule bei A und B berechnen läßt.

Wenn der geschlossene Schenkel des Manometers bis Oben hin gleiche Weite hat, wenn er also cylindrisch ist, wie in Fig. 255, so wird die Bestimmung um so ungenauer, je stärker der Druck wird: denn wenn der Druck z. B. von 3 auf 4 Atmosphären steigt, so vermindert sich das Volumen von $^1/_3$ bis auf $^1/_4$, also um $^1/_{12}$ des ursprünglichen Volumen, die Länge der Luftsäule wird also um den 12. Theil des ursprünglichen Abstandes ma kleiner; steigt dagegen der Druck von 9 auf 10 Atmosphären, so beträgt die Aenderung nur den 90. Theil von ma, ist also kaum genau zu beobachten. Um diesem Uebelstande abzuhelfen, wendet man bisweilen Manometer an, die sich nach Oben kegelförmig verengern (Fig. 256), sodaß sich also eine Volumenänderung im oberen Theile verhältnißmäßig stärker bemerklich macht als im unteren: allein es ist nicht möglich, diese Instrumente sehr genau zu arbeiten, sodaß ihre Angaben kaum zuverlässiger sind, als die der cylindrischen Manometer.

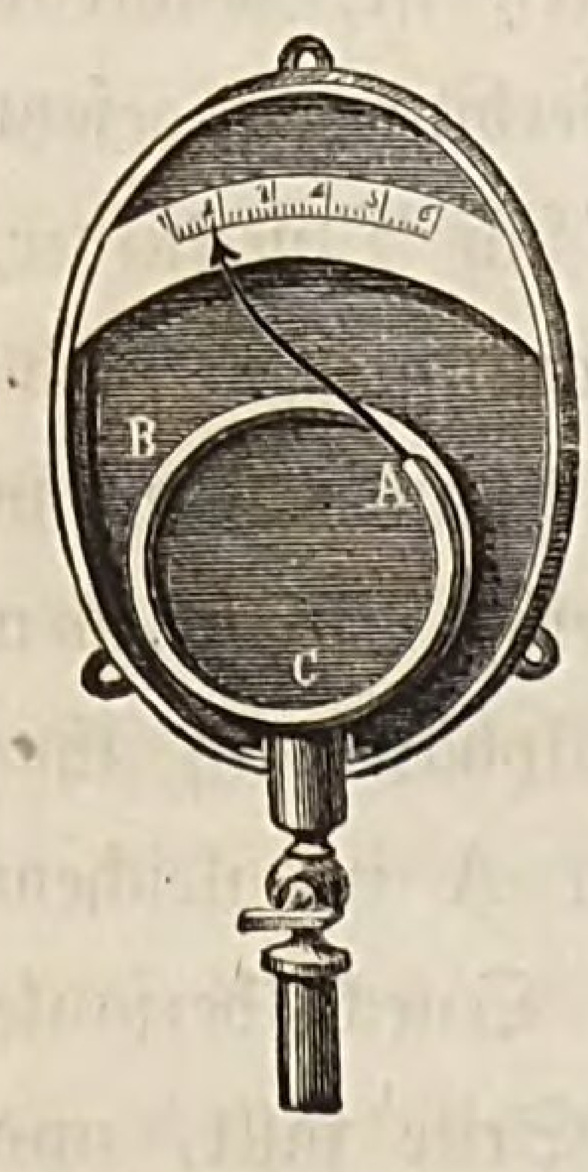


Fig. 257. Metallmanometer.

Weiter finden wir bei vielen Dampfkesseln Metallmanometer (Fig. 257) angebracht, die sich durch die Bequemlichkeit, mit der sie sich beobachten lassen, und durch ihren niedrigen Preis empfehlen, die aber leicht mit der Zeit durch den Druck, dem sie immer ausgesetzt sind, solche Aenderungen erleiden, daß ihre Angaben unzuverlässig werden; will man sie anwenden, so ist wenigstens nothwendig, daß man sie von Zeit zu Zeit mit anderen genaueren Manometern vergleicht. Die Metallmanometer beruhen auf folgender Erscheinung, welche Bourdon zuerst genauer studiert und bei dem von ihm erfundenen Barometer zur Anwendung gebracht hat: biegt man eine beiderseits geschlossene Röhre aus dünnem Bleche, deren Querschnitt eine flache Ellipse bildet, und erhöht man in ihrem Innern den Druck der Luft, so wird ihre Biegung flacher; läßt der Druck im Innern nach, so krümmt sie sich wieder stärker. In

Fig. 257 erblicken wir nun eine solche Metallröhre ABC, die mit dem Dampfkessel in Verbindung steht und an ihrem Ende A einen Zeiger trägt, welcher auf einer Theilung weiter rückt, sobald der Druck steigt. Doch nicht allein die Metallmanometer ändern sich mit der Zeit, auch die Luftmanometer können möglicherweise mancherlei Veränderungen erleiden: so hat das Glas abgesehen von seiner Zerbrechlichkeit auch noch die schlimme Eigenschaft, daß es sich leicht infolge der häufigen Erhitzung trübt und dadurch die Beobachtungen erschwert oder gänzlich hindert; besonders aber kann es auch vorkommen, daß sich das Quecksilber in der Röhre oxydiert und dabei einen Theil der eingeschlossenen Luft aufzehrt: dadurch wird das Volumen der eingeschlossenen Luft geringer, als es ursprünglich war, und die Ablesungen geben den Druck zu hoch an.

Nachdem wir nunmehr die Einrichtung des Dampfkessels im Allgemeinen und die der wichtigsten Vorrichtungen, welche an ihm angebracht sind, kennen gelernt haben, wollen wir nunmehr weiter sehen, wie man die Form desselben abgeändert hat: wir werden daher jetzt die wesentlichsten Umwandelungen der Gestalt des Kessels betrachten, welche zu unserer Zeit am häufigsten bei feststehenden Dampfmaschinen, bei Dampfschiffen und Locomotiven angewendet werden.

§ 4. Verschiedene Form der Dampfkessel.

Will man Wasser in einem Topfe zum Sieden bringen, so ist es am natürlichsten, daß man den Topf ganz einfach über ein Feuer stellt, und Niemandem wird es einfallen das Feuer in das Innere des Topfes hineinzubringen, Jeder würde einen derartigen Vorschlag für absurd erklären: und doch ist man bei den Kesseln der Dampfmaschine auf eine derartige Einrichtung verfallen, und die Techniker haben die Ansicht aufgestellt, daß es vortheilhafter sein könnte, wenn man den Kessel nicht über das Feuer stellt, sondern wenn man umgekehrt das Feuer in einen freien Raum im Innern des Kessels brächte; auf diese Weise glaubt man das Brennmaterial in möglichst hohem Grade auszunutzen und damit eine der wichtigsten Forderungen der Industrie, so gut als nur immer möglich, nämlich möglichste Ersparniß an Feuerungsmaterial, zu befriedigen. Man fing also an neben den Kesseln mit Siederohren, bei denen sich der Heizraum unter dem Kessel befindet, wie wir sie bisher

betrachtet haben, noch andere Kessel zu erbauen, bei welchen die Verbrennung in einem Raume erfolgt, welcher im Innern liegt: und schon in dieser Beziehung können wir zwei wesentlich verschiedene Grundformen einander gegenüberstellen, nämlich Kessel mit äußerer Feuerung und Kessel mit innerer Feuerung. Hierzu kommt nun noch als dritte Grundform ein gemischtes System, wie es bei den Kesseln mit Heizröhren angewendet wird; bei denselben befindet sich nämlich die eigentliche Feuerung zwar außerhalb des Kessels, von ihr aus aber schlägt die Flamme durch eine große Anzahl von Röhren, welche durch das Innere des Kessels hindurchgehen und somit ringsum von Wasser umgeben sind.

Die Kessel, welche Watt ursprünglich anwendete und welche wegen ihrer Form als Wagenkessel oder Kofferkessel bezeichnet wurden, gehörten der ersten Grundform an: bei ihnen war die untere Fläche, unter welcher sich die Feuerung befand, flach nach Oben gewölbt, zu beiden Seiten aber waren Heizkanäle angebracht, durch welche die heißen Gase zurückkehren mußten, bevor sie in den Schornstein entweichen konnten. Auch bei den ersten Dampfbooten wurden ähnliche Kessel angewendet, nur brachte man bei ihnen schon ein Rohr an, das sich der ganzen Länge nach durch das Innere des Kessels hindurchzog, und durch welches die Gase zurückkehren müssen, bevor sie in die seitlich angebrachten Heizröhren entweichen konnten: man sieht, daß diese Kessel bereits der dritten Grundform angehörten. Die Form der Kofferkessel war nicht sehr geeignet, dem Drucke des Dampfes einen bedeutenden Widerstand entgegenzusetzen, und so kam es, daß in den ersten Jahrzehnten die meisten Dampfexplosionen gerade bei diesen Kesseln erfolgten; jetzt hat man diese Construction der Kessel vollständig verlassen und vielfach neue Formen eingeführt, z. B. die cylindrischen Kessel mit Siederohren.

Bei dem Kessel, welchen wir in den vorigen Abschnitten betrachteten, fanden wir zwei Siederohre, man baut aber auch andere, bei denen nur ein Siederohr, oder bei denen deren drei vorhanden sind: eine sehr vortheilhafte Anordnung hat Farcot eingeführt, indem er vier Siederohre in einem Seitenraume neben dem Kessel übereinander anbrachte, wie Fig. 258 zeigt. Wir sehen, daß sich hier die Feuerung unter dem Dampfkessel A selbst befindet: die Verbrennungsgase und der Rauch aber finden ihren Abzug durch die Heizkanäle, in denen die vier Siederohre liegen, und zwar durchströmen sie dieselben in der Richtung von

Oben nach Unten, bevor sie in den Schornstein entweichen, sodaß sie den größten Theil ihrer Wärme in den oberen Kammern abgeben und in der unteren erst anlangen, nachdem sie sich schon wesentlich abgekühlt haben. Die Siederohre sind aber zugleich auch Speiserohre, indem das Wasser, durch welches der Kessel immer wieder neu gefüllt wird, durch sie strömt, und zwar fließt dasselbe in der umgekehrten Richtung, tritt zuerst in das tiefste Rohr A' und steigt allmählich in die anderen auf, bis es in den Kessel gelangt. Beim Eintritte kommt also das Wasser, das selbst eine noch ziemlich niedrige Temperatur besitzt, zuerst in den Raum, der durch die Verbrennungsgase am wenigsten erwärmt wird, und erst in dem Maße, wie es aufsteigt und sich allmählich erwärmt, gelangt es in Räume von höherer Temperatur: auf diese Weise werden die Temperaturunterschiede zwischen Wasser und Gas in den einzelnen Räumen möglichst gemildert und dadurch die Ausnutzung der Wärme bedeutend erhöht.

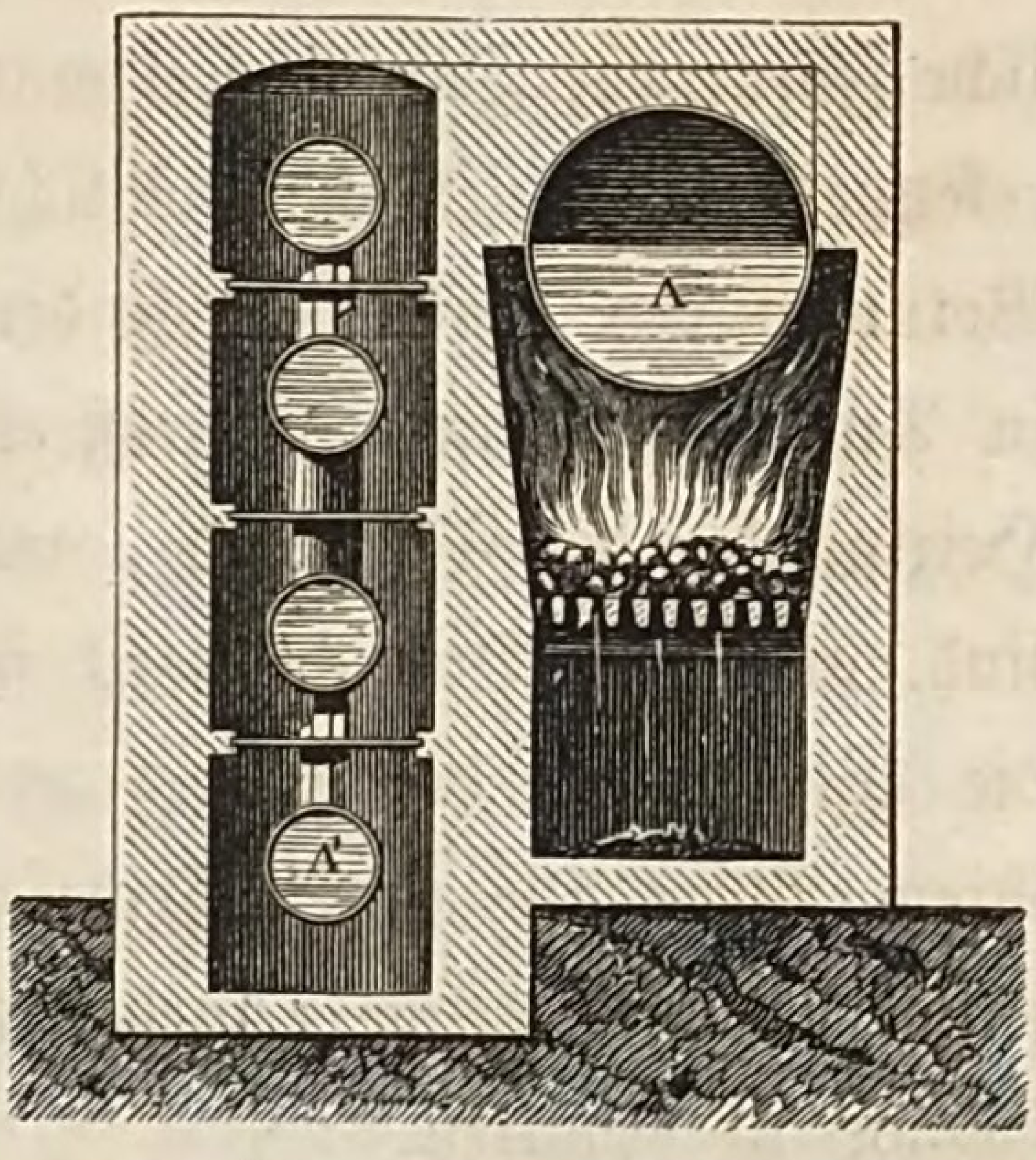


Fig. 258. Dampfkessel nach Farcot.

Bei den Dampfkesseln der zweiten Art, nämlich bei den Kesseln mit innerer Heizung umschließt der cylindrische Rumpf ein inneres Rohr von genügender Weite, welches ringsum vom Wasser eingeschlossen ist: in diesem Rohre befindet sich der Feuerherd selbst mit seinem Roste, sodaß es also nicht nur, wie bei der oben erwähnten Einrichtung als Abzugsrohr für den Rauch und die Gase anzusehen ist. Bei diesem Systeme geht zwar die durch die Verbrennung erzeugte Hitze unmittelbar auf die Kesselwand und durch diese auf das Wasser über und es geht kein Theil derselben dadurch verloren, daß das Mauerwerk, in welches der Kessel eingebaut ist, erhitzt wird: allein die Heizfläche würde doch zu klein sein und es würde zu viel Wärme in den Schornstein entweichen, wenn man nicht durch Anbringung von Zügen oder Kanälen an der Seite des Kessels dafür sorgte, daß die heißen Gase längs der Außenwand noch einmal zurückkehren, bevor sie nach der Luft ausströmen: dadurch werden aber die Kanäle so stark beengt, daß der Luftzug sich leicht nicht in der nothwendigen Lebhaftigkeit entwickelt. Gleichwohl sind

diese Dampfkessel für feststehende Maschinen vielfach besonders in England im Gebrauche: der Rumpf derselben liegt immer horizontal und umschließt ein oder zwei Röhren, die zur Aufnahme der Feuerung bestimmt sind.

Bei der größten Zahl der Umwandlungen, denen man die ursprüngliche Form der Dampfkessel unterworfen hat, läßt sich leicht das Streben erkennen, die Heizfläche möglichst auszudehnen, ohne daß dabei das innere Volumen des Kessels, noch der Raum, den er im Mauerwerke für sich in Anspruch nimmt, vergrößert wird. Siederohre, innere und äußere Heizkanäle, die Feuerherde, welche in das Innere des Kessels verlegt sind, alle diese Vorrichtungen sind nur zu dem Zwecke ersonnen worden, die Wirksamkeit des Feuers zu erhöhen, sodaß die Verbrennungsgase auf ihrem Wege alle ihre Wärme an den Dampfkessel abgeben bis auf diejenige Menge, welche erforderlich ist um den Luftzug im Schornsteine im Gange zu erhalten.

Schon im Jahre 1793 kam Barlow auf den Gedanken, daß es vortheilhaft sein dürfte von der Heizung aus Röhren durch den Dampfkessel zu legen, durch welche die Flamme hindurch schlägt, doch erst im Jahre 1829 sind derartige Kessel durch Seguin und Stephenson gebaut und bei den Locomotiven, wie auch mit den nöthigen Abänderungen auf Dampfschiffen zur Anwendung gebracht worden. Bei diesen Heizungseinrichtungen, welche in die dritte von den drei oben angeführten Classen gehören, sind in den cylindrischen Rumpf des Kessels Röhren eingefügt, welche horizontal und parallel unter sich liegen und einerseits in die Feuerung, andererseits in die Heizkanäle oder in den Schornstein einmünden. Diese Röhren sind auf allen Seiten vom Wasser des Dampfkessels umschlossen, welches alle Zwischenräume zwischen ihnen ausfüllt und durch ihre Wände hindurch die Wärme empfängt, welche die Verbrennungsgase bei ihrem Durchgange durch die Röhren an sie abgeben: auf diese Weise nimmt die Heizfläche außerordentlich zu und dadurch wird die Ausnützung der Wärme, die durch die Verbrennung der Kohlen entwickelt wird, eine viel vollkommnere. Bei den Locomotiven, den Locomobilen und den Dampfkesseln der Schiffsmaschinen ist auch der Feuerherd selbst von Abtheilungen des Kessels umschlossen mit Ausnahme des vorderen unteren Theiles, sodaß man in diesen Fällen die Heizung fast als eine innere ansehen kann: wenigstens besitzt sie alle Vorzüge der letzteren.

Figur 259 stellt eine solche Heizungsanlage dar, bei welcher noch die Abänderung getroffen ist, daß die Flamme wieder zurückkehren muß: man nennt in solcher Weise eingerichtete Kessel Dampfkessel mit rückkehrender Flamme oder mit Pultfeuerung. Bei diesem Kessel schlägt nämlich die Flamme zuerst in zwei weite Cylinder A und B, und erst wenn die Gase an deren Ende angelangt sind, kehren sie durch die zahlreichen engeren Heizröhren nach vorn zurück und entweichen schließlich in den Schornstein, welcher sich über dem vorderen Theile des Kessels erhebt.

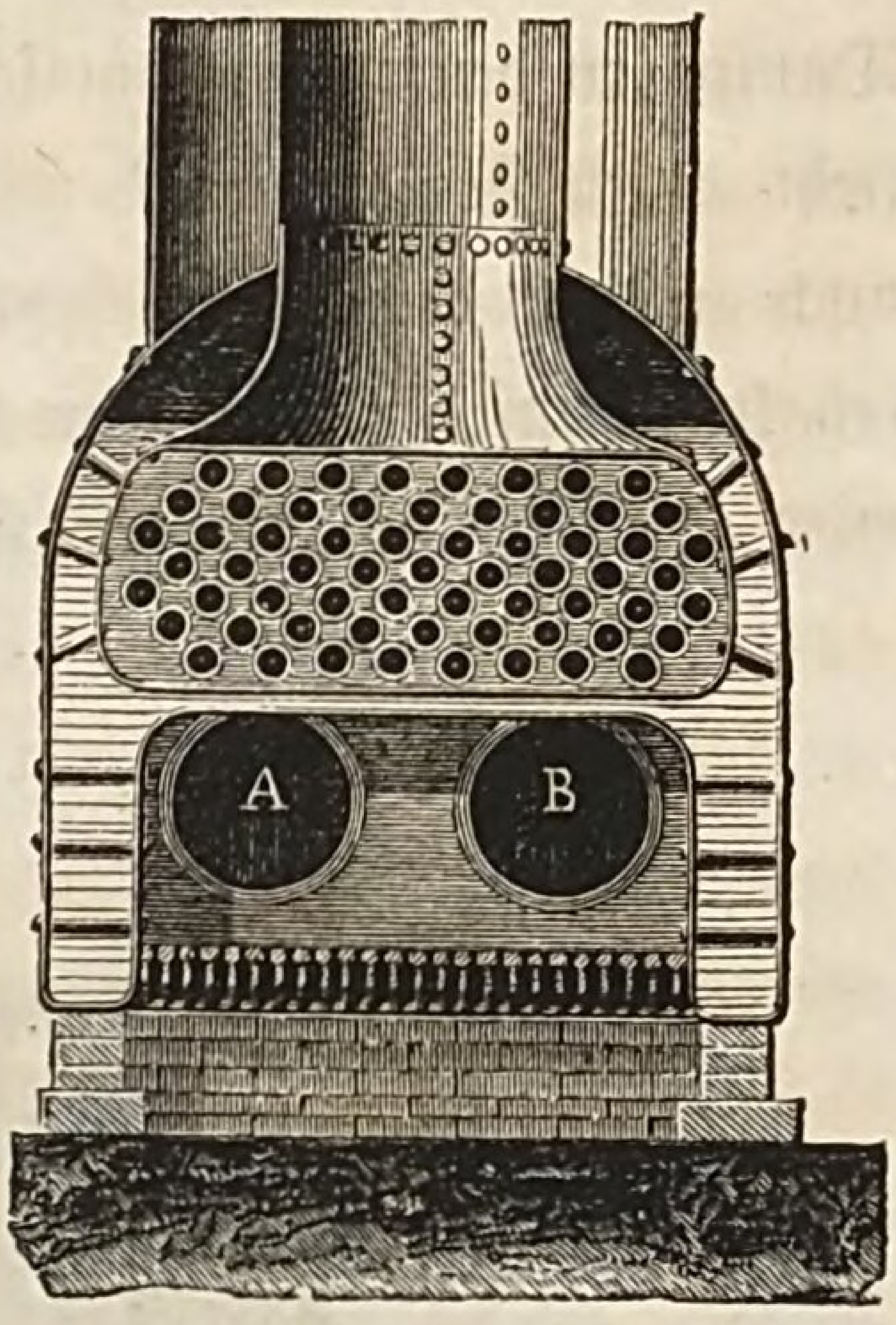


Fig. 259. Dampfkessel einer Schiffsmaschine mit Heizröhren und rückkehrender Flamme.

Außer diesen drei Hauptformen, welche wir bisher besprochen haben und welche allein bei größeren Dampfanlagen zur Anwendung kommen, hat man noch mancherlei Abänderungen in der Form der Dampfkessel vorgeschlagen und zur Ausführung gebracht. So hat man Kessel gebaut, aus denen man die Feuerung leicht entfernen kann, und welche sich infolge dessen sehr bequem reinigen und von den Stoffen, die sich aus dem Wasser absetzen, befreien lassen; ferner hat man für kleinere Maschinen an Stelle der Kessel Schlangenrohre angewendet, welche vollständig in der Feuerung liegen und durch welche man beständig einen Strom von Wasser hindurch leitet: die Verdampfung dieses Wassers erfolgt in sehr kurzer Zeit, sodaß die Entwickelung des Dampfes auch sofort aufhört, sobald das Strömen des Wassers unterbrochen ist. In den Hochöfen verwendet man nicht selten die Gase, welche aus der Gicht des Ofens aufsteigen und welche ohnedem verloren sein würden, um durch ihre Verbrennung den Dampfkessel zu erhitzen.

Nur ein System, bei welchem das Wasser sogleich bei seinem Eintritte in Dampf verwandelt wird, wodurch die Gefahr der Explosion fast ganz vermieden ist, wollen wir noch kurz erwähnen, nämlich den Dampferzeuger nach Belleville's System (Fig. 260), dessen Anwendung für das kleinere und mittlere Gewerbe, z. B. in Druckereien und in den Werkstätten der Handwerker, manchen Vortheil zu gewähren

scheint. Wir sehen bei diesem Apparate an Stelle des Kessels eine Reihe von aufrechtstehenden Röhren R, welche durch die Feuerung selbst hindurch gehen und an ihrem unteren Ende in ein horizontales Rohr E münden, durch das ihnen immer neues Wasser zugeführt wird, während sie oberhalb mit dem Rohre G in Verbindung stehen, durch welches der Dampf zu den Betriebsmaschinen geleitet wird. Das horizontale Rohr E steht durch das Knie P mit einem Gefäße H in Verbindung, sodaß sich auch in den aufrecht stehenden Röhren das Wasser in derselben Höhe erhalten muß, wie in dem Gefäße H. Durch einen besonderen Apparat wird der Zufluß des Wassers durch den Dampfdruck selbst reguliert,

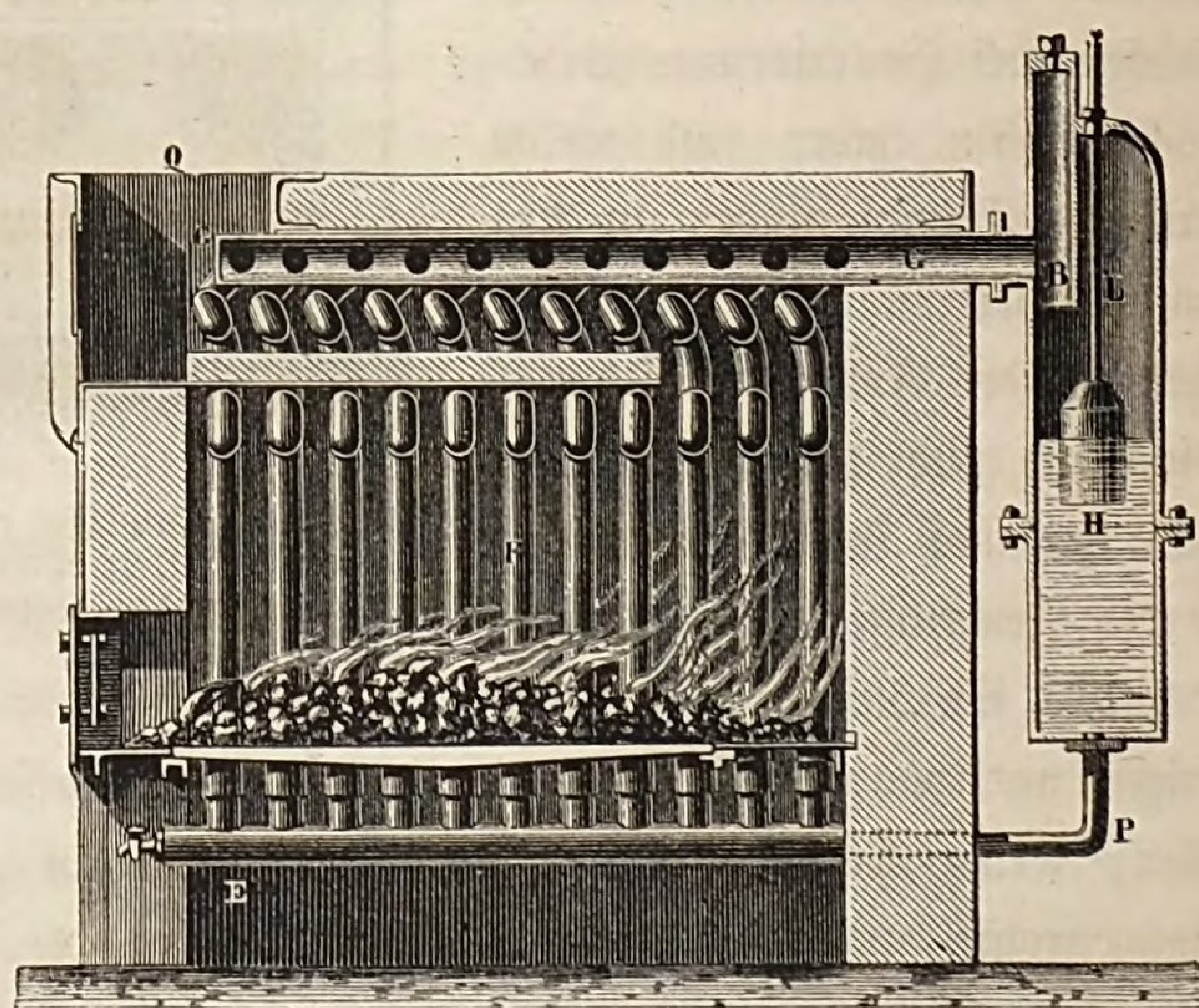


Fig. 260. Dampferzeuger nach Belleville's System.

sodaß in demselben Maße, wie sich das Wasser in Dampf verwandelt, auch wieder Ersatz für dasselbe geschafft wird, wodurch sich das Niveau immer in gleicher Höhe erhält. Bei einer Maschine dieses Systemes, welche einen Raum von weniger als 4 Kubikmeter einnimmt, beträgt die Heizfläche 10 Quadratmeter, und es lassen sich in ihr stündlich mehr als 200 Kgr. Wasser in Dampf verwandeln. Eine sehr hohe Dampfspannung läßt sich freilich bei diesen Dampferzeugern mit Circulation des Wassers nicht erzielen, auch die Unterhaltungskosten sind verhältnißmäßig ziemlich hoch, sodaß in allen Fällen, wo größere Dampfkräfte gebraucht werden, diese Systeme niemals Eingang finden werden: ihre

Vorzüge bestehen darin, daß sie in der ersten Anschaffung verhältnißmäßig billig sind, daß sie nur einen geringen Raum beanspruchen und daß bei ihnen die Gefahr der Explosion sehr vermindert ist.

§ 5. Explosionen der Dampfkessel.

So wohlthätig der Einfluß gewesen ist, den die Erfindung der Dampfmaschine nicht allein auf die Entwickelung des gesammten gewerblichen Lebens, sondern ganz allgemein auf die Erhöhung des Culturzustandes aller gebildeter Nationen gehabt hat, so hat doch eben derselbe Fortschritt in der Cultur auch Gefahren mit sich gebracht, von denen man früher nichts ahnte, und alljährlich fordert noch jetzt die Dampfkraft zahlreiche Opfer, immer wieder von Zeit zu Zeit sprengt das gewaltige Element, das gebändigt uns so ungeheueren Nutzen schafft, seine Fesseln und streut Verderben nach allen Seiten.

Alle Explosionen der Dampfkessel lassen sich schließlich auf eine einzige Endursache zurückführen, nämlich darauf, daß aus irgend welchem Grunde die Spannung des Dampfes, welcher im Kessel entwickelt ist, die Grenzen des Widerstandes überschreitet, den die Wände des Kessels ihm entgegenstellen. Sobald nur an einer Stelle der Widerstand überwunden ist, so werden sich auch sofort aus dem Wasser im Kessel, dessen Temperatur ja bereits die Siedehitze überschreitet, immer neue Dampfmassen entwickeln: bedenkt man nun, daß das Wasser, sobald es die Dampfform annimmt, sich fast auf das 1700fache seines ursprünglichen Volumens ausdehnt, so kann es nicht Wunder nehmen, daß dieser Dampf die Metallstücke mit großer Gewalt auseinander reißt und weit fort schleudert. Zu den mechanischen Wirkungen, welche diese furchtbaren Geschosse hervorbringen, gesellen sich aber weiter noch die Wirkungen, welche die Dampfmasse vermöge der hohen Temperatur, welche sie besitzt, veranlaßt, sodaß die Zerstörungen, welche die Explosion eines Dampfkessels herbeiführt, sich leicht auf einen hohen Grad steigern.

Fragen wir nach den einzelnen Ursachen, durch welche derartige Katastrophen herbeigeführt werden können, so lassen sich dieselben hauptsächlich auf folgende Umstände zurückführen:

1. Wenn sich das Niveau des Wassers im Kessel zu tief herabsenkt, sodaß ein zu großer Theil der metallischen Oberfläche nicht mehr mit

wurde die Temperatur sogar bis fast 200° gesteigert, und Grove nimmt an, daß absolut luftfreies Wasser überhaupt nie zum Sieden gebracht werden könne: tritt nun aber nach solcher Verzögerung das Sieden endlich ein, so entwickeln sich mit einem Male große Massen von Dämpfen, welche sich mit Gewalt auszubreiten streben. Sollte nun ein Dampfkessel einmal mit Wasser gespeist sein, welches nicht die nöthige Menge Luft in sich einschließt, indem es z. B. zuvor aufgekocht worden ist, so könnte eine ähnliche Erscheinung wie die von Donny beobachtete eintreten und dann würde eine Kesselexplosion unvermeidlich sein.

Die bis hierher erwähnten Ursachen können den Eintritt eines Unglücksfalles herbeiführen, selbst wenn im Uebrigen die Beschaffenheit des Kessels noch so vorzüglich ist: ihre Wirkung ist von der Güte der Maschine, von der Festigkeit der Kesselwände und von der guten Dichtung der Fugen vollständig unabhängig; vermeiden lassen sie sich nur durch ununterbrochene Aufmerksamkeit und Vorsicht. Während die Maschine im Gange ist, muß der Maschinist beständig das Wasserstandsrohr und die anderen Wasserstandsmesser im Auge behalten, soll Wasser nachgefüllt werden, so muß dies langsam und vorsichtig geschehen, das Feuer aber ist zuvor zu mäßigen, besonders wenn eine größere Menge kalten Wassers nachgefüllt werden soll. Auch auf die Beschaffenheit des Wassers ist zu achten und man hat womöglich nur solches auszuwählen, das nur wenig mineralische Bestandtheile enthält, besonders ist aber der Kesselstein alsbald zu entfernen, wenn er sich in nur irgend bedenklicher Menge angesammelt hat: zu diesem Zwecke sind im Deckel der größeren Dampfkessel weite Oeffnungen (Fig. 252, H) angebracht, durch welche die Arbeiter, die den Kessel reinigen sollen, in sein Inneres einsteigen können.

4. Jeder Kessel ist vermöge seiner Construction immer nur im Stande einen Druck, der eine gewisse Größe nicht übersteigt, auszuhalten: ein größerer Druck würde ihn sprengen. Damit nun dieser Druck nicht überschritten werden kann, sind die Sicherheitsventile angebracht, welche natürlich immer in gutem Stande zu erhalten sind, wenn sie wirklich Sicherheit gewähren sollen: ist die Beschaffenheit derselben nicht genügend, oder hat wohl gar der Maschinist, wie es schon manchmal vorgekommen ist, die Thorheit begangen sie außer Thätigkeit zu setzen, so kann dies zu einer weiteren Ursache für Explosionen werden.

„Ein Maschinist, der seine Sicherheitsventile festschraubt, sagt der berühmte englische Ingenieur Fairbairn, gleicht einem Wahnsinnigen, welcher sich mit einer brennenden Fackel in ein Pulvermagazin stürzt.“ Gegen eine so höchst verderbliche Praxis sind zwar die strengsten Verbote der Gesetzgebung gerichtet: das sicherste, ja das einzige Mittel gegen solchen Unfug ist aber doch, daß nur solche Leute zur Bedienung angestellt werden, die mit den nöthigen Kenntnissen ausgerüstet sind. Sorgfältige und öfters wiederholte Prüfung der Sicherheitsventile und beständiges Beobachten der Manometer können auch gegen die Gefahr, die aus einer zu starken Anspannung des Dampfdruckes erwachsen kann, Schutz gewähren.

5. Als letzte Ursache der Explosionen ist endlich die fehlerhafte Einrichtung der Dampfkessel oder die geringe Güte des Materials, aus dem sie angefertigt sind, zu nennen; besonders wenn Kessel schon sehr lange im Gebrauche sind, nutzen sie sich so ab, daß man sie ausrangieren oder wenigstens öfters einer neuen Prüfung mit der hydraulischen Presse unterwerfen sollte: Nachlässigkeit in dieser Beziehung hat auch schon öfters großes Unglück herbeigeführt.

Wohl ist anzunehmen, daß noch manche andere Ursache, die sich zur Zeit unserer Kenntniß entzieht, eine derartige Katastrophe herbeiführen kann: und so dürfen wir zwar hoffen, daß durch immer mehr gesteigerte Aufmerksamkeit die Zahl der Explosionen abnimmt, nicht aber daß sie jemals gänzlich vermieden werden können. Bei den feststehenden Dampfmaschinen der Fabriken und bei den Dampfkesseln der Schiffsmaschinen, welche einer viel größeren Zahl zerstörender Einwirkungen ausgesetzt sind, treten derartige Unglücksfälle viel häufiger ein, als bei den Locomotiven, was vielleicht darin mit seinen Grund hat, daß letztere viel unausgesetzter unter Aufsicht gehalten werden. Springt einmal ein Heizungsrohr, wie es manchmal vorkommt, so ist damit in der Regel keine weitere Gefahr verbunden und der Maschinist kann gewöhnlich durch Eintreiben von Keilen auf beiden Seiten des Rohres eine erste Hilfe schaffen.

Gegen Ende des Jahres 1875 waren im Königreiche Preußen 29078 Dampfmaschinen mit 31526 Dampfkesseln im Gange, in Frankreich dagegen 32006 Maschinen, woraus sich die Zahl der Kessel auf ungefähr 35000 schätzen läßt: die Zahl der Explosionen von

Kesseln betrug in den vier Jahren von 1873—76 in Preußen 50, in Frankreich 123, sodaß also in Preußen von je 630, in Frankreich aber schon von je 284 Kesseln in vier Jahren einer explodiert ist. Fragt man nach den Ursachen, welche die Unglücksfälle herbeigeführt haben, und beschränkt man sich auf diejenigen, die bei größerer Aufmerksamkeit und Vorsicht hätten vermieden werden können, so findet man als solche in Preußen: Wassermangel in 12, Kesselstein in 1, übermäßige Dampfspannung in 3, fehlerhafte Einrichtung, Abnutzung oder geringe Güte des Kessels in 32 Fällen; in Frankreich: Wassermangel in 24, schlechte Reinigung in 4, übermäßige Dampfspannung in 3, Unvorsichtigkeit des Heizers in 10, fehlerhafte Einrichtung, Abnutzung, Beschädigung oder geringe Güte des Kessels in 58 Fällen. Man sieht, daß in den zahlreichsten Fällen die Beschaffenheit des Kessels die Ursache war, daß nächstdem aber die Unaufmerksamkeit des Maschinisten, welcher den Wasserstand nicht sorgfältig genug beobachtete, am häufigsten die Schuld trug.

Sechstes Kapitel.

Die Dampfmaschine. — Der Bewegungsmechanismus.

§ 1. Der Dampfcylinder.

Nachdem wir in der Hauptsache die Einrichtung des Kessels kennen gelernt haben, in welchem die Verwandlung des Wassers in Dampf vor sich geht, wenden wir uns nun zu den Theilen, in denen die Spannung des Dampfes eine Bewegung hervorruft. Wie wir bereits früher gesehen haben, erfolgt diese Bewegung zunächst in einem Cylinder, in dem der Dampf einen Kolben bald nach der einen, bald nach der anderen Seite schiebt: vor diesem Cylinder aber befindet sich ein Raum, die Dampfkammer, in welchen der Dampf zunächst durch ein Rohr aus dem Kessel eintritt und in welchem sich die Steuerung befindet, eine Vorrichtung, welche durch ihre Stellung bewirkt, daß der Dampf bald von der einen und bald von der andern Seite in den Cylinder eindringt, und daß andererseits der verbrauchte Dampf einen Abzug in den Condensator oder in die freie Luft findet. Nunmehr wollen wir

uns mit den Einzelheiten dieser Vorrichtungen beschäftigen, und wir beginnen mit dem wesentlichsten Theile des Bewegungsmechanismus, dem Dampfcylinder.

Der Cylinder (Fig. 263) besteht gewöhnlich aus Gußeisen, seine innere Höhlung wird sehr sorgfältig ausgebohrt und ausgedreht, sodaß die innere Fläche sehr glatt ist und überall genau gleiche Weite besitzt. Die beiden Enden sind durch Deckel abgeschlossen, welche gewöhnlich beide durch sehr starke Schrauben am Cylinder befestigt sind und mithin auch abgenommen werden können: manchmal ist dagegen der Cylinder mit dem einen Boden aus einem Stücke gegossen, und nur der Deckel, durch welchen die Kolbenstange t hindurchgeht, ist festgeschraubt und muß natürlich allemal abgenommen werden, wenn der Kolben eingesetzt oder wieder herausgenommen werden soll. An der Stelle, wo die Kolbenstange durch ihn hindurch geht, ist auf ihm eine Stopfbüchse b befestigt, welche verhindert, daß beim Hin- und Hergehen der Kolbenstange der Dampf einen Ausweg neben derselben findet.

Der Kolben P, welcher sich im Cylinder Hin- und Herbewegt, wird auf sehr viele verschiedene Weisen hergestellt, und wir wollen uns hier

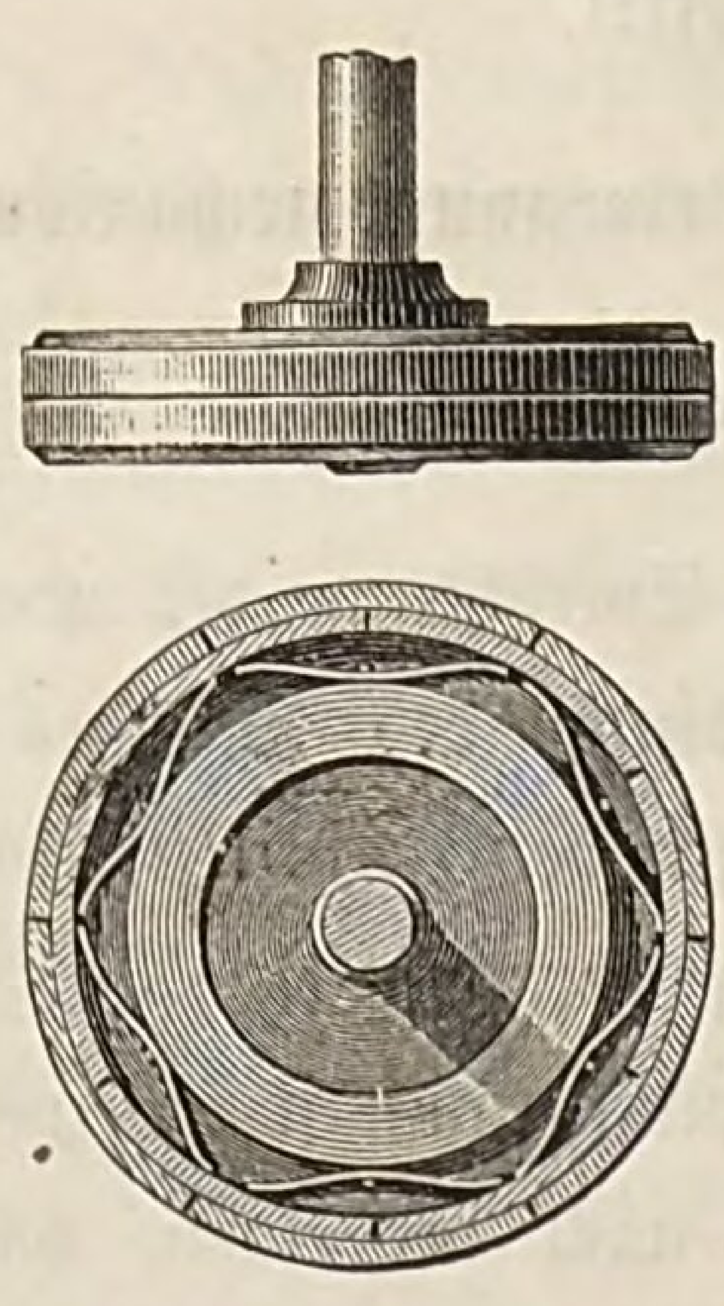


Fig. 261. Federnder Kolben.

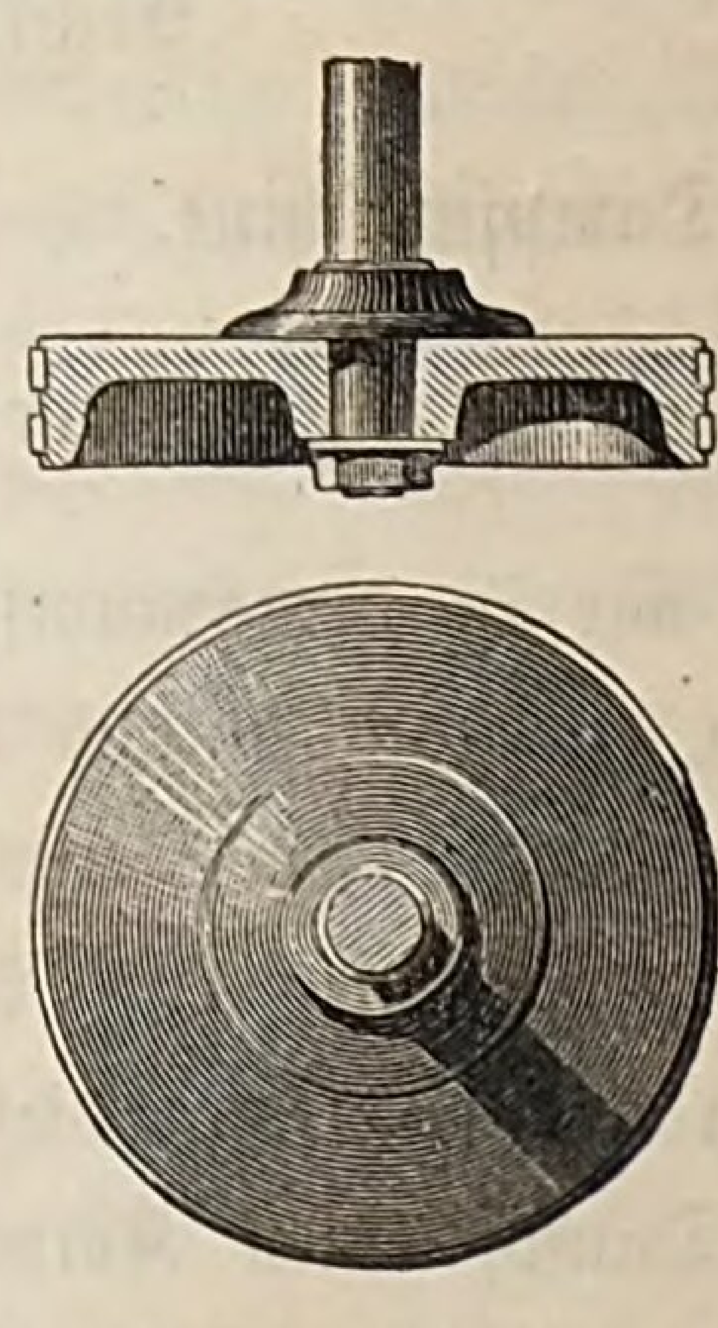


Fig. 262. Schwedischer Kolben.

nur auf die wichtigsten Grundformen beschränken. In den meisten Fällen besteht er aus zwei Metallplatten, deren Durchmesser ein wenig geringer ist als der des Cylinders, und welche sowohl unter sich als auch an der Kolbenstange, die durch sie hindurch geht, gut befestigt sind (Fig. 261). Rings um den Umfang läuft eine Furche, welche der

Dichtung oder Liederung als Stütze dienen soll: unter Liederung aber versteht man den Theil des Kolbens, dessen äußere Oberfläche mit möglichst geringer Reibung längs der inneren Wandung des Cylinders gleiten, dabei aber immer so fest anschließen soll, daß durchaus kein Dampf aus der einen Abtheilung des Cylinders zur anderen hinüber dringen kann. Früher verfertigte man die Dichtung aus Hanfflechten, welche aber sehr häufig von Neuem geölt oder auch vollständig erneuert werden mußten, weil sie sich sehr schnell abnutzten: jetzt verwendet man dafür aber mit sehr gutem Erfolge metallische Dichtungen, welche aus einzelnen Stücken, die in ihrem Zusammenhange einen Ring bilden, bestehen und durch im Innern angebrachte Federn gegen die Wand des Cylinders gepreßt werden, wie aus Fig. 261 zu ersehen ist. Sehr gut anzuwenden ist auch der von Ramsbottom erfundene Kolben, welcher nur aus einer einzigen dickeren Platte besteht, die aber im Innern ausgehöhlt ist, damit ihr Gewicht möglichst vermindert werde: um diese Platte sind zwei federnde Steifen aus weichem Gußstahle gelegt, welche in zwei kreisförmige Einschnitte, die sich äußerlich um den Kolben herumziehen, eingepaßt sind. Der Anschluß dieser Stahlreifen an die Wände des Cylinders ist ein sehr guter und so bilden sie eine sehr einfache Dichtung, deren Unterhaltung auch sehr wenig kostspielig ist. Der schwedische Kolben (Fig. 262) unterscheidet sich von dem zuletzt erwähnten nur dadurch, daß bei ihm die Metallreifen viel breiter sind und aus Gußeisen bestehen, welches durch ein wenig Zinn gehärtet ist.

§ 2. Die Steuerung.

Um nun weiter zu verstehen, welche Einrichtungen getroffen sind, damit der Dampf abwechselnd von beiden Seiten in den Cylinder eindringen und dann wieder entweichen kann, Einrichtungen, die man mit dem Gesammtnamen der Steuerung bezeichnet, wollen wir die Abbildung Fig. 263 betrachten, welche den Längsschnitt eines Dampfcylinders mit Steuerung darstellt. Wir sehen, wie in der Nähe der beiden Deckel des Cylinders bei a und a′ zwei Kanäle a a und a′ a″ in letzteren einmünden, welche durch die dickere Seitenwand, die den Cylinder von der Dampfkammer trennt, gebohrt sind: durch diese Kanäle, welche Dampfwege heißen, dringt der Dampf abwechselnd von der einen und

von der anderen Seite in den Cylinder. Die äußeren Oeffnungen der Dampfwege nach der Dampfkammer zu liegen viel näher bei einander, zwischen ihnen befindet sich aber noch die Mündung eines Kanales E, welche die **Dampfaustrittsöffnung** genannt wird: durch diese Oeffnung entweicht der Dampf in das Rohr C und dann weiter entweder in die freie Luft, wie bei den Hochdruckmaschinen, oder bei den Niederdruckmaschinen in den Condensator, wo er seine Spannkraft verliert.

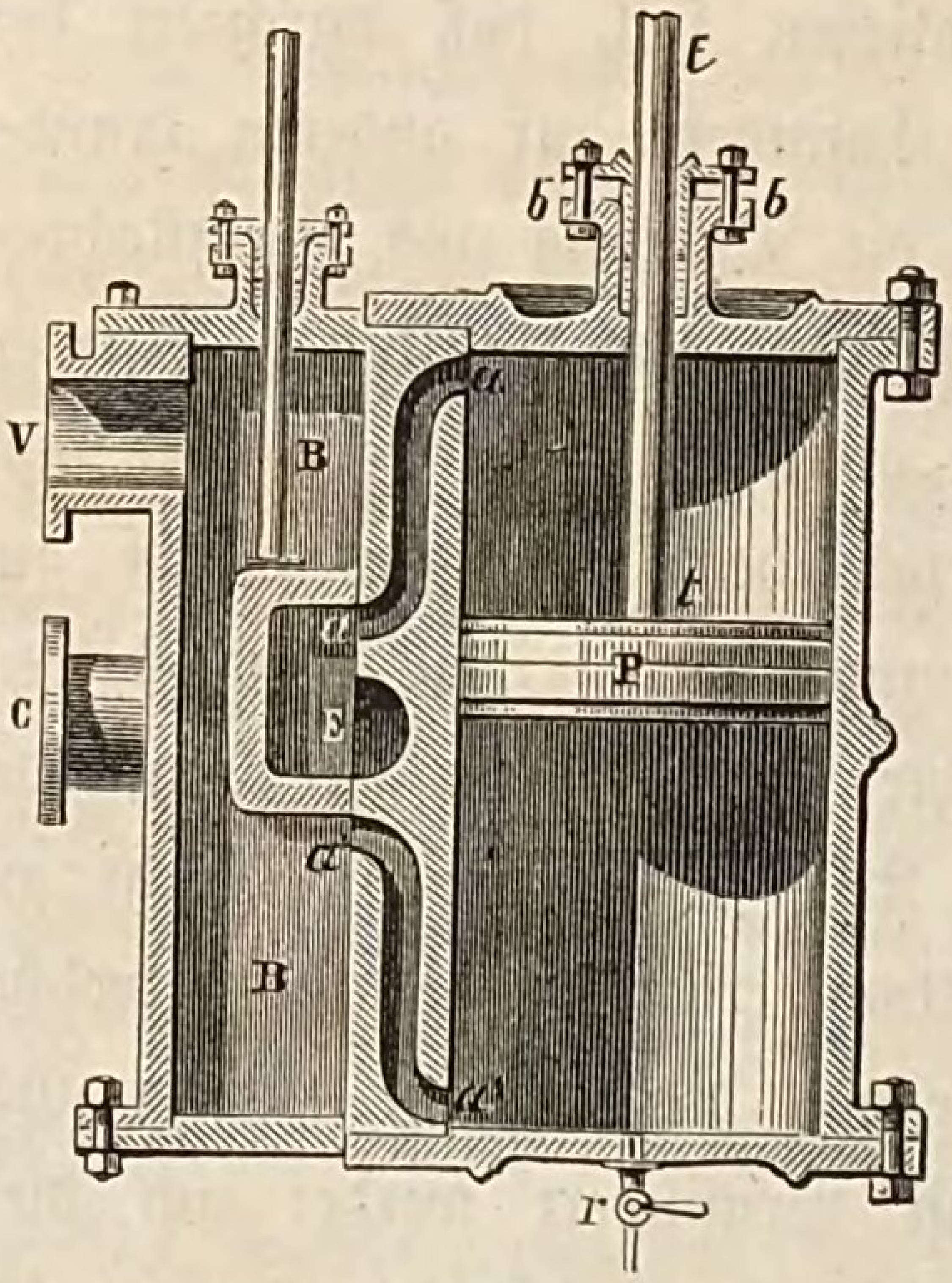


Fig. 263. Längsschnitt eines Dampfcylinders.

Die Außenwand des Cylinders ist an der Stelle, wo die drei Oeffnungen einmünden, sehr gut geglättet, und vor den Oeffnungen gleitet bei dem von uns dargestellten Cylinder innerhalb der **Dampfkammer** oder des **Schieberkastens** BB ein prismatisches Kästchen hin und her, das an der dem Cylinder zugewendeten Seite offen, sonst aber vollständig geschlossen ist: dieses Kästchen heißt **Schieber** oder **Schubventil**. Dieser Schieber ist also beständig nach der Dampfkammer hin, in welche

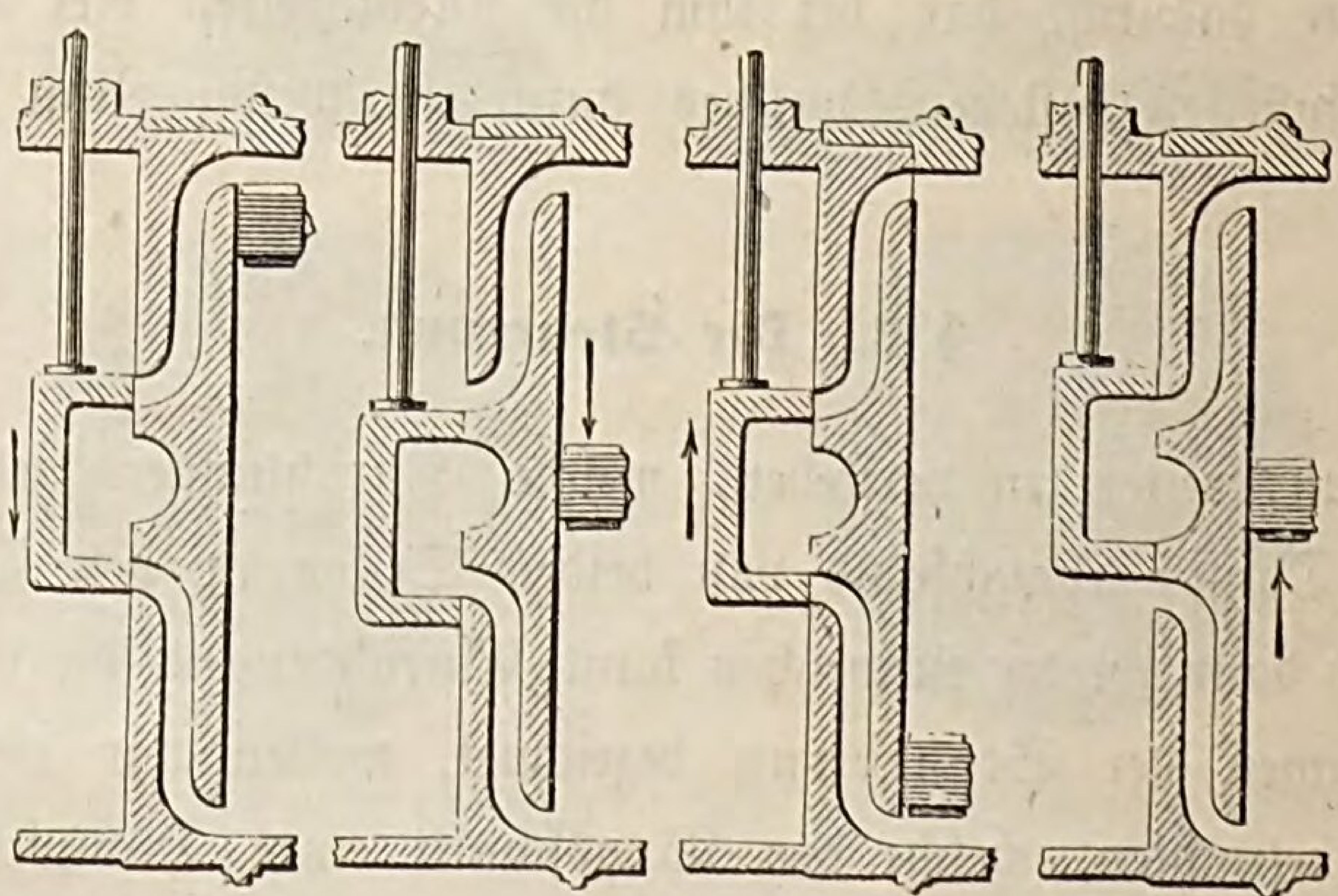


Fig. 264. Wechselnde Bewegung des Schiebers und des Kolben.

der Dampf aus dem Kessel durch das Rohr V eindringt, geschlossen, während seine Höhlung immer nach der Dampfaustrittsöffnung E hin offen ist. In Bezug auf die Dampfwege stellt sich dagegen der

Schieber so ein, daß er abwechselnd über den einen überfaßt und ihn dadurch mit der Oeffnung E in Verbindung bringt, den andern aber frei läßt, sodaß der Dampf durch ihn eindringen kann. Die verschiedenen Stellungen des Schiebers lassen sich aus Fig. 264 sehr leicht verstehen; in derselben ist auch durch Pfeile die jedesmalige Richtung der Bewegung angedeutet. Der Schieber selbst ist an einer Stange befestigt, welche durch eine Stopfbüchse im Deckel hindurchgeht und von einem Metallringe getragen wird: letzterer schlingt sich um eine excentrische Scheibe, welche auf der Axe des Schwungrades fest aufsitzt und also von der Maschine selbst in Bewegung gesetzt wird.

Wir haben als Beispiel für die Steuerung den sogenannten Muschelschieber gewählt, weil derselbe in sehr vielen Maschinen angewendet wird und weil seine Construction sehr leicht zu verstehen ist: aber auch noch einige andere der wichtigeren Constructionen müssen wir wenigstens kurz erwähnen.

Das Mittel, welches Watt zuerst angewendet hat um den Gang des Dampfes im Cylinder zu regulieren, war der sogenannte Vierwegehahn (Fig. 265): in den Dampfcylinder A B, in dem sich der Kolben C bewegt, münden bei m und n zwei Rohre, welche von einem Punkte entspringen, in dem ein Hahn mit doppelter Durchbohrung a b und c d eingesetzt ist. Nach demselben Punkte hin mündet einerseits das Rohr e, welches den Dampf aus dem Kessel zuleitet, andererseits das Rohr f, das zum Condensator oder in die freie Luft führt. Bei der in der Figur angenommenen Stellung wird, wie man leicht sieht, der Dampf in den oberen Theil des Cylinders eindringen, während aus dem unteren Theile der Dampf abfließen kann: giebt man dagegen dem Hahne die Stellung, die durch die Nebenfigur angedeutet ist, so erfolgt die Bewegung in umgekehrter Richtung. Das Umstellen des Hahnes wurde in der ersten Zeit durch Knaben, die dazu besonders angestellt waren, ausgeführt, bis man einsah, daß diese Arbeit von der Maschine

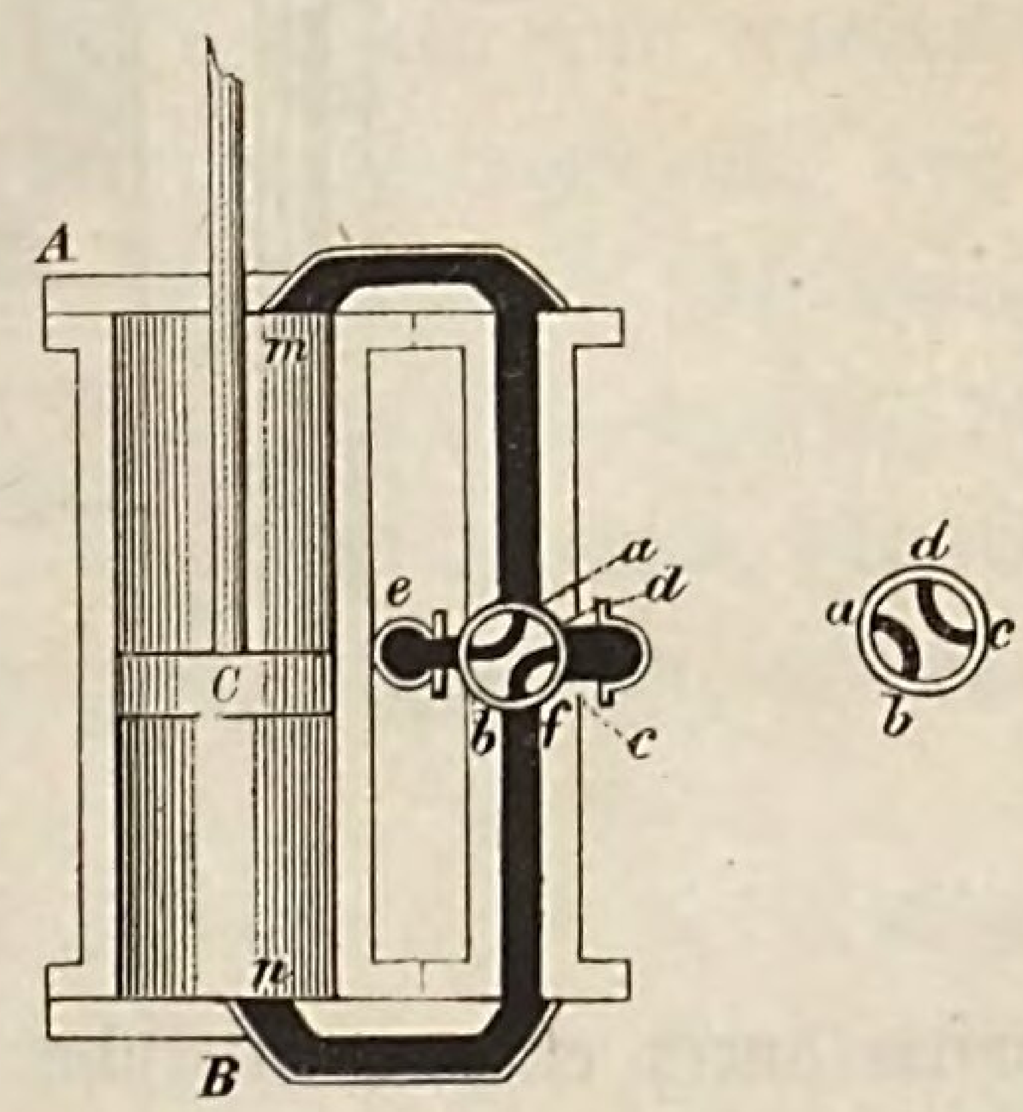


Fig. 265. Dampfcylinder mit Vierwegehahn.

§ 3. Das Arbeiten mit Expansion.

Werfen wir noch einmal einen Blick auf die verschiedenen Stellungen, welche der Kolben und der Schieber in Figur 264 in den verschiedenen Phasen der Bewegung einnehmen, und beachten wir dabei, daß bei der Anordnung, wie sie dort getroffen ist, die Seitenwand des Schiebers einen Durchmesser besitzt, welcher nicht größer ist, als die Breite der Dampfwege, so finden wir, daß in demselben Augenblicke, in welchem der eine Dampfweg durch den Schieber nach der Dampfkammer hin abgeschlossen wird, sich der andere auch schon wieder öffnet, daß also die Verbindung des einen Theiles des Cylinders mit dem Dampfkessel so lange ununterbrochen frei bleibt, bis der Kolben an das andere Ende gelangt ist, und daß der volle Druck des Dampfes auf dem ganzen Wege bis dahin wirksam bleibt. In der ersten Zeit kannte man keine andere Einrichtung, sondern arbeitete stets mit vollem Dampfdrucke: allein schon Watt, dessen Namen wir fast bei allen wesentlichen Entdeckungen wiederfinden, durch welche die ursprüngliche Einrichtung der Dampfmaschine abgeändert worden ist, fand, daß man sich einen doppelten Vortheil dadurch verschaffen könnte, wenn man dem Dampfe nur während eines Theiles der Zeit, in welcher sich der Kolben in der einen Richtung bewegt, Zutritt gewährt. Einmal erhält nämlich dadurch die Maschine einen viel regelmäßigeren Gang, und zweitens wird für die gleiche Arbeitsleistung eine geringere Dampfmenge aufgebraucht und dadurch an Brennmaterial gespart.

Läßt man z. B. nur so lange Dampf einströmen, bis der Kolben den dritten Theil seines Weges zurückgelegt hat, und sperrt man bereits in diesem Augenblicke den Dampfweg ab, so wird der in den Cylinder eingedrungene Dampf doch keineswegs aufhören zu wirken, sondern er wird vermöge seiner Spannung auch fernerhin den Kolben weitertreiben: allein da der Raum, welchen er einnimmt, dabei immer größer wird, so läßt seine Spannung in demselben Maße auch allmählich nach, sodaß der Druck, den er auf den Kolben ausübt, wenn letzterer an das Ende seiner Bahn gekommen ist, nur noch den dritten Theil so groß ist als im Anfange. Der Dampf wirkt also von da an wie eine Spiralfeder, welche zusammen gedrückt war und sich allmählich wieder ausdehnt. Wird die Einrichtung so getroffen, wie es jetzt allgemein

geschieht, so bedient man sich des Ausdruckes, daß die Maschine mit Expansion arbeitet.

Auch in diesem Falle wird es uns nicht möglich sein, an dieser Stelle ausführlich die verschiedenen Mittel zu besprechen, durch welche man diese wesentliche Abänderung bewirkt hat, sondern wir beschränken uns auf ein einzelnes Beispiel und wählen dazu die Steuerung mit übergreifendem Schieber von Clapeyron (Fig. 267). Dieselbe ist nur eine Umformung des Muschelschiebers, an dem nur die wesentliche Abänderung angebracht ist, daß seine Ränder durch angefügte Ansätze viel breiter gemacht sind, als die Oeffnungen der Dampfwege L L′.

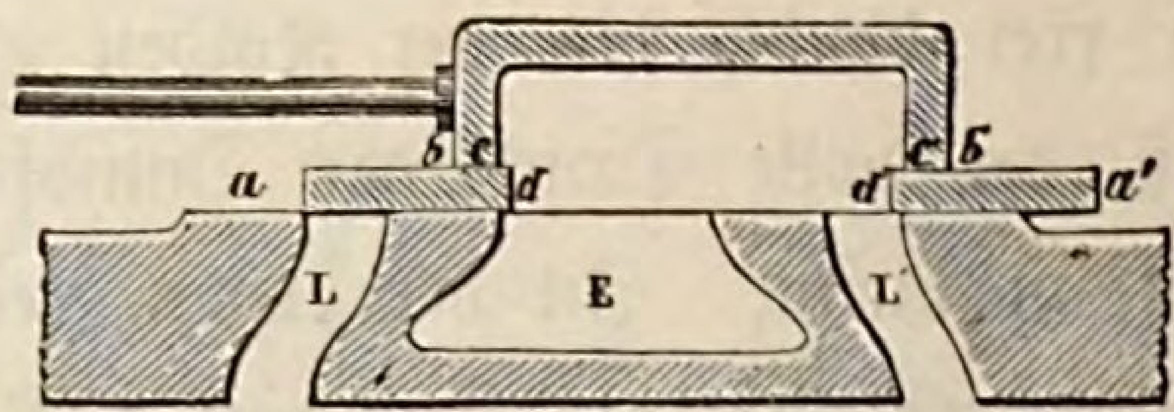


Fig. 267. Steuerung mit übergreifendem Schieber von Clapeyron.

Diese Ansätze a b, a′ b′, c d und c′ d′, welche sowohl nach Innen als nach Außen übergreifen, bilden die sogenannte Ueberlappung des Schiebers: sie verhindern, daß, wenn der eine Dampfweg geschlossen ist, sich der andere sofort öffnet. Für jede Abtheilung des Cylinders folgen also immer vier verschiedene Zustände auf einander, die sich in folgender Weise von einander unterscheiden.

Im ersten Zeitabschnitt hat der Dampf freien Zutritt und arbeitet daher mit vollem Druck, nämlich mit der Spannung, welche er im Kessel erreicht. Hierauf schließt sich der Dampfweg, durch den der Dampf eintritt, indem die Ueberlappung des Schiebers übergreift, und nun folgt der zweite Zeitabschnitt, in welchem der Dampf mit Expansion arbeitet, wobei seine Spannung allmählich immer mehr nachläßt, bis zu dem Augenblicke, in welchem sich der Dampfweg wieder öffnet, um dem Dampfe den Abzug zu gestatten. In der dritten Periode kann also der verbrauchte Dampf frei nach dem Condensator oder in die Luft entweichen; allein auch jetzt schließt sich der Dampfweg früher, bevor der Kolben bis an das Ende des Cylinders gelangt ist: den Schluß bildet also ein vierter Zeitabschnitt, während dessen die geringe Menge Dampfes, welche im Cylinder zurückgeblieben ist, vom Kolben

von diesem aus durch das Rohr E in die Dampfkammer des größeren Cylinders B, hebt dort den Kolben P′ und entweicht endlich durch die Röhre C in den Condensator. Während also der Dampf den Kolben P immer mit vollem Drucke bewegt, wird der Dampf, welcher zur Bewegung des Kolben P′ verwendet wird, während der Dauer der Bewegung eine starke Expansion erfahren, weil er beim Hinüberströmen aus

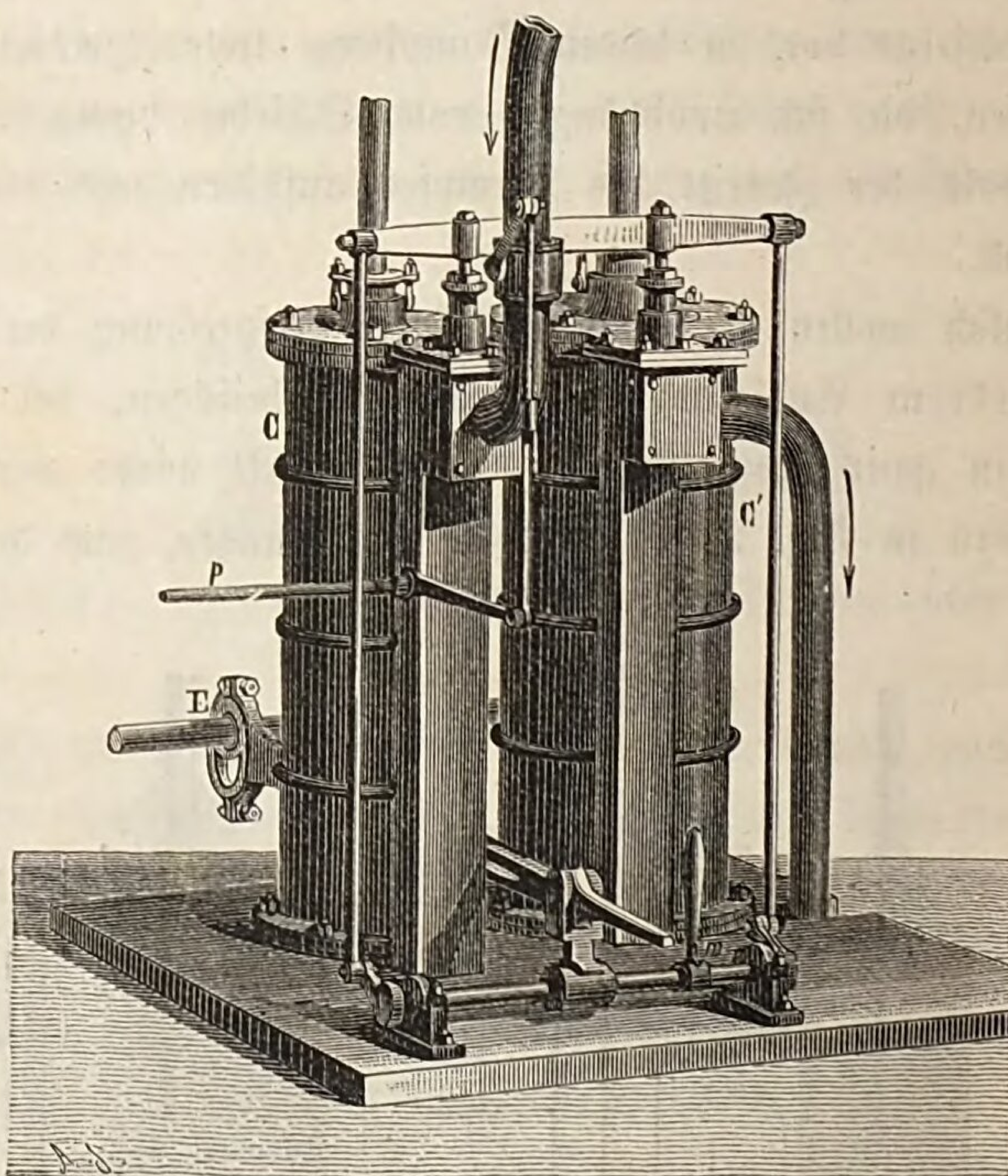


Fig. 269. Aeußere Ansicht der Cylinder der Woolff'schen Maschine.

A in den viel größeren Cylinder B sich über einen Raum ausdehnen muß, welcher bei der Bewegung immer größer wird. Beide Kolben bewegen sich bei der Woolff'schen Maschine immer in derselben Richtung und auch die Schieber müssen immer gleichzeitig nach derselben Seite hin verschoben werden.

§ 4. Die Uebertragung der Bewegung.

Die bisherigen Betrachtungen haben uns gezeigt, daß durch die Kraft des Dampfes in den Dampfmaschinen zunächst der Kolben und

die mit ihm verbundene Kolbenstange, welche durch den Deckel des Cylinders hindurch geführt ist, in eine geradlinige hin- und hergehende Bewegung versetzt wird: in der Praxis ist aber diese Form der Bewegung nur in wenigen Fällen anwendbar, und es entsteht somit die Aufgabe an ihre Stelle eine andere Bewegung zu setzen, welche sich besser zur Anwendung eignet. Eine solche Bewegung ist aber die drehende, die selbst wieder leicht in eine andere Form übergeführt werden kann, und es kam also darauf an, die Einrichtung so zu treffen, daß durch die Bewegung des Kolben eine Axe in Umdrehung versetzt wird, an der sich wieder Räder von der verschiedensten Form anbringen lassen, welche die eigentlichen Betriebsmaschinen in Gang setzen.

Das älteste Verfahren besteht darin, daß man die Bewegung zunächst auf einen zweiarmigen Hebel, den Balancier, überträgt und noch jetzt sind die stehenden Dampfmaschinen der überwiegenden Mehrzahl nach Maschinen mit Balancier: Die Einrichtung dieser Maschinen läßt sich in ihren Grundzügen aus Figur 270 erkennen.

Die Kolbenstange t, welche an dem Kolben P befestigt ist, steht durch ein Zwischenstück mit dem Endpunkte eines Balkens oder Hebels

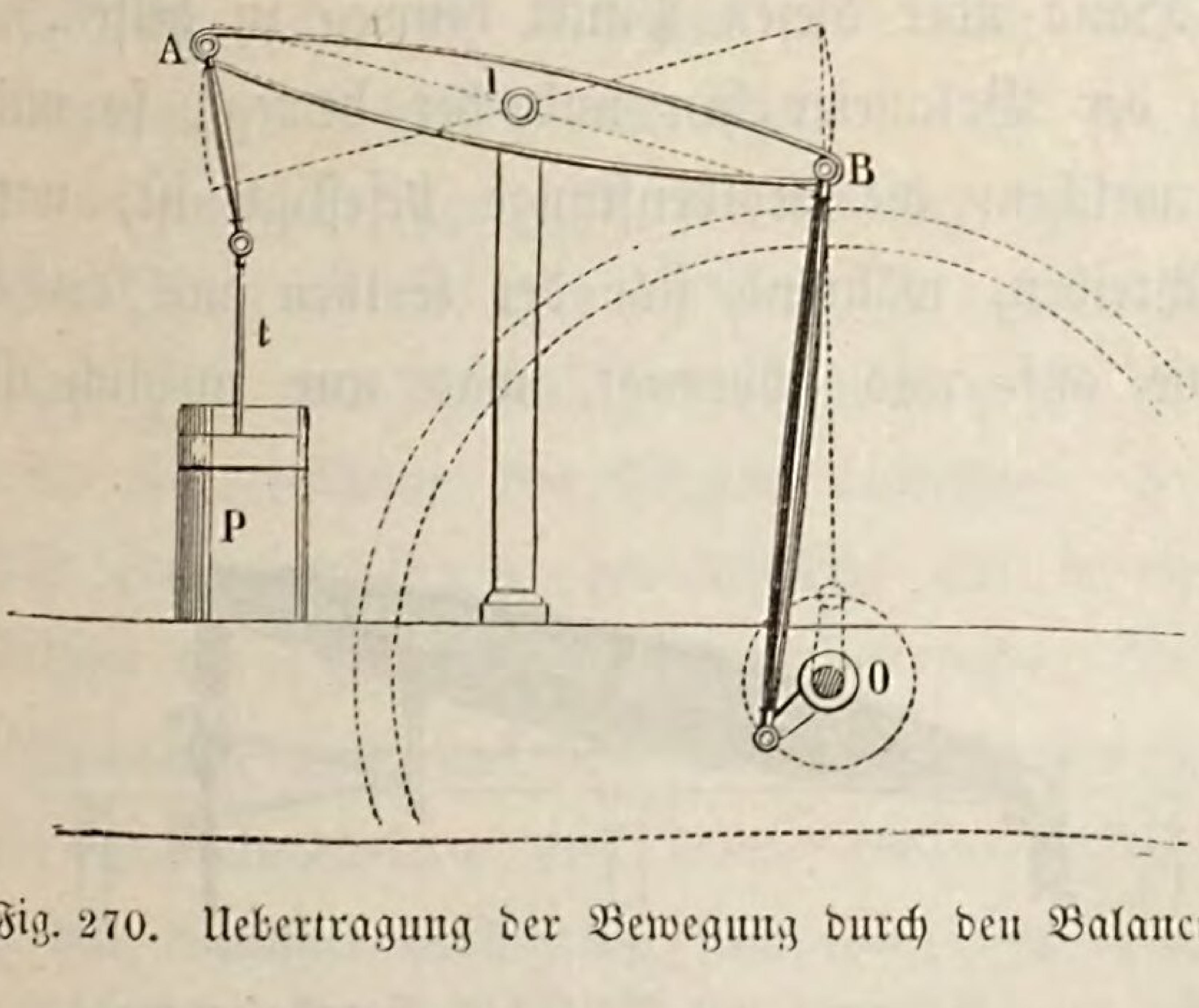


Fig. 270. Uebertragung der Bewegung durch den Balancier.

AB, der sich um einen festen Punkt I dreht, in Verbindung, indem das Zwischenstück sowohl an der Kolbenstange, als auch an dem Hebel durch Gelenke befestigt ist. Jener Hebel, welcher Balancier genannt wird, trägt an seinem anderen Ende B ebenfalls vermittelst eines Gelenkes eine lange Stange, welche Kurbel-, Trieb- oder Bleuelstange

genannt wird. Diese Kurbelstange treibt an ihrem unteren Ende eine Kurbel, welche an einer Axe befestigt ist und dieselbe nebst dem an ihr festsitzenden großen eisernen Rade, dem Schwungrade, in Umdrehung versetzt. Durch diese Einrichtung hat man das Ziel erreicht die geradlinige hin- und hergehende Bewegung in eine drehende zu verwandeln, und zugleich bewirkt auch der Schwung, in den das große Rad versetzt ist, daß die Bewegung mit großer Regelmäßigkeit anhält.

Sobald sich die Kurbel des Schwungrades auf der rechten oder linken Seite neben der Axe befindet, so wird sie auch und mit ihr das Schwungrad durch die Kurbelstange weiter gedreht, wenn sich letztere aufwärts oder abwärts bewegt: befindet sich dagegen die Kurbel in dem höchsten oder tiefsten Punkte ihrer Bahn, so würde sich die Kurbelstange, wenn die Maschine noch nicht im Gange ist, gegen die Kurbel stemmen und die Umdrehung weder nach der einen, noch nach der anderen Seite hin in Gang setzen. Ueber diese beiden Punkte nun, welche man die todten Punkte der Maschine nennt, hilft das Schwungrad hinweg, wenn es einmal in Bewegung versetzt ist, und nur, wenn die Maschine überhaupt erst in Gang gesetzt werden soll und wenn sie sich vielleicht gerade in einem der todten Punkte befindet, ist es nothwendig dem Rade mit der Hand über diesen Punkt hinweg zu helfen.

Wenn sich der Balancier hin und her bewegt, so muß der Endpunkt A, an welchem die Kolbenstange befestigt ist, natürlich einen Kreisbogen beschreiben, während sich der Kolben mit der Kolbenstange in gerader Linie auf- und abbewegt, was nur möglich ist, wenn die

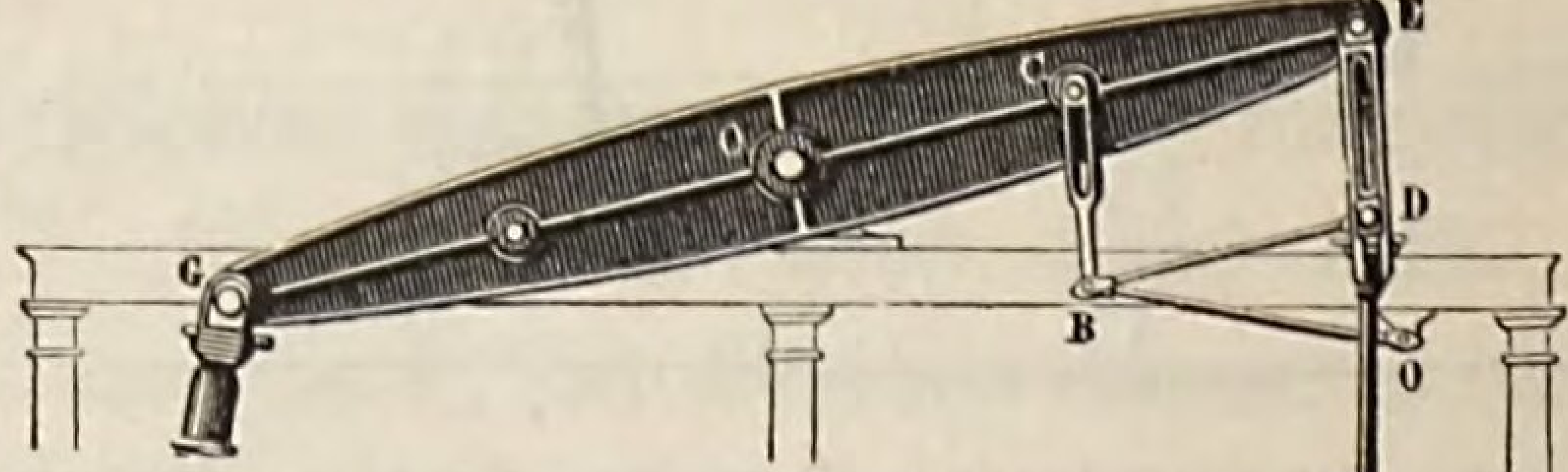


Fig. 271. Balancier mit Watt'schem Parallelogramme.

Kolbenstange durch ein Gelenk gegliedert ist: aber auch wenn diese Gliederung in so einfacher Weise eingerichtet ist, wie Figur 270 zeigt, wird die Stange beim Hin- und Hergange gegen die Ränder der Oeffnung, durch welche sie hindurchgeführt ist, und gegen die Stopf-

büchse drücken und dadurch wird die Dichtigkeit des Abschlusses bald geschädigt. Um diesen Uebelstand zu heben hat Watt eine eben so einfache, als sinnreiche Einrichtung getroffen, welche sich aus Figur 271 leicht ersehen läßt. Anstatt nämlich die Kolbenstange unmittelbar am Balancier zu befestigen, bringt Watt an zwei Punkten C und E desselben gleich lange Stangen CB und DE an, welche durch einen Querstab mit einander verbunden sind, dessen Länge gleich dem Abstande CE ist, sodaß die Figur CEDB immer in jeder Lage ein Parallelogramm sein muß. D trägt die Kolbenstange, während B durch einen Stab OB geführt wird, der sich um einen Punkt O, welcher am Gerüste der Maschine festsitzt, dreht. Die ganze Vorrichtung nennt man das Watt'sche Parallelogramm. Während also bei dieser Einrichtung der Punkt E einen Kreisbogen um den Drehpunkt des Balanciers beschreibt und dabei nach Rechts hin ausweicht, bewegt sich B ebenfalls auf einem Kreise, dessen Halbmesser OB ist, und weicht dabei nach Links hin aus: die Längen sind also so zu bemessen, daß beide Ausweichungen gleich groß sind und daß infolge dessen der Punkt D immer in derselben Geraden auf- und abgeht; damit diese Forderung mit genügender Genauigkeit erfüllt werden könne, darf der Balancier in seiner Bewegung um nicht mehr als höchstens 20° nach beiden Seiten hin von der horinzontalen Richtung abweichen. Liegt C gerade in der Mitte zwischen E und der Axe, um die sich der Balancier dreht, und bewegt sich der Punkt D in gerader Linie, so gilt dasselbe für den Mittelpunkt von CB, und deshalb bringt man z. B. bei der Maschine von Woolff die Kolbenstange des kleinen Cylinders in diesem Punkte an, bei anderen Dampfmaschinen aber befestigt man daselbst die Stange, welche den Kolben der sogenannten Luftpumpe treibt. Um der größeren Festigkeit willen bringt man auf den beiden Seiten des Balanciers zwei genau gleiche Parallelogramme an, deren entsprechende Punkte durch starke Zapfen mit einander verbunden sind, die aber beide durch dieselbe Leitstange OB geführt werden.

§ 5. Die Regulatoren.

Aus der ganzen Einrichtung der Dampfmaschine läßt sich leicht einsehen, daß die Geschwindigkeit des Ganges derselben von vielen wirkenden Ursachen abhängig ist und daß sie sich also auch ändern muß,

sobald diese Ursachen mit wechselnder Stärke wirken, wenn nicht Vorrichtungen angebracht sind, durch welche diese Aenderungen ausgeglichen werden: solche Vorrichtungen aber heißen im Allgemeinen Regulatoren. Schon während jedes einzelnen Ganges des Kolbens drückt der Dampf, besonders wenn die Maschine mit Expansion arbeitet, mit verschiedener Stärke, weil er sich auf einen immer größeren Raum ausbreiten muß: und weiter bei der Uebertragung drückt die Bleuelstange am kräftigsten auf die Kurbel oder zieht am stärksten an ihr, wenn der Winkel, den beide mit einander bilden, ein rechter ist; je mehr sich die Kurbel dem todten Punkte nähert, um so geringer wird die Wirkung. Aber auch der Dampf im Kessel kann bereits seine Spannung ändern, wenn z. B. das Feuer nicht ganz gleichmäßig unterhalten, oder wenn eine größere Menge kalten Wassers zur Speisung neu hinzugeführt wird oder der Verbrauch an Dampf ein außergewöhnlich großer oder geringer ist. Endlich ist die Geschwindigkeit auch von der Größe der Arbeit abhängig, welche die Maschine zu leisten hat: bei gleichem Dampfdrucke wird eine Maschine sich um so langsamer bewegen, je größer die Arbeit ist, die man ihr zumuthet, und umgekehrt; wird also in einer Werkstatt eine Anzahl von Arbeitsmaschinen, die durch dieselbe Dampfmaschine getrieben werden, ausgeschaltet, so würde auch sofort der Gang der Maschine sich beschleunigen, wenn die Regulatoren nicht Abhilfe schafften.

Um nun zunächst die Unregelmäßigkeiten von kürzerer Dauer abzustellen bringt man an der Maschine das Schwungrad an, ein Rad aus Gußeisen von großem Gewichte und großem Durchmesser, dessen Masse hauptsächlich im Radkranze vereinigt ist: man befestigt dasselbe an der Axe, die durch die Kurbel in Umdrehung versetzt wird. Beginnt nun die Geschwindigkeit der Maschine aus irgend welcher Ursache zu wachsen, so speichert sich der Ueberschuß an Kraft gleichsam als lebendige Kraft im Schwungrade auf, und wenn nun die treibende Kraft des Dampfes in ihrer Intensität wieder nachläßt, so giebt das Schwungrad diese lebendige Kraft an die einzelnen Maschinentheile wieder ab und ersetzt dadurch, was es zuvor absorbiert hatte. Größe und Gewicht des Schwungrades sind nach der Kraft der Maschine, sowie nach dem größeren oder geringeren Betrage der Unregelmäßigkeiten, die sowohl in Bezug auf die treibende Kraft, als auch auf die Größe der zu leistenden Arbeit eintreten können, zu bemessen.

Doch man sieht leicht, daß das Schwungrad die Aufgabe die Bewegung zu einer gleichmäßigen zu machen nur dann erfüllen kann, wenn die störenden Ursachen so wirken, daß sie die Geschwindigkeit bald zu beschleunigen und bald zu verzögern streben, sodaß dieselbe ohne Schwungrad um einen mittleren Werth hin und her schwanken würde: wenn dagegen zu befürchten steht, daß irgend welche Ursache beständig so wirkt, daß sie die Geschwindigkeit stets über den Mittelwerth zu steigern oder stets unter diesen Werth herabzudrücken strebt, so kann dies durch das Schwungrad nicht verhindert werden, weil dasselbe allmählich jene höhere oder diese niedere Geschwindigkeit annehmen wird. Das Schwungrad gleicht nur die Schwankungen um den Mittelwerth aus, die Höhe desselben zu regulieren ist es nicht im Stande. Wächst die Geschwindigkeit über eine gewisse Grenze hinaus, so kann schließlich sogar der Fall eintreten, daß der Kranz des Schwungrades zerreißt und daß die Theile weit hinweg geschleudert werden: denn bei jedem Körper, der in Umdrehung versetzt wird, zeigt sich eine Kraft, die sogenannte Centrifugalkraft, welche bewirkt, daß sich die einzelnen Theile von der Drehungsaxe zu entfernen streben, und diese Kraft wächst im Verhältnisse des Quadrates der Drehungsgeschwindigkeit, also in weit stärkerem Maße als die Geschwindigkeit selbst. Eben diese Kraft wird aber bei anderen Vorrichtungen angewendet um zu verhindern, daß die Geschwindigkeit, mit der sich die Maschine bewegt, eine gewisse Größe überschreitet, zugleich aber auch, daß sie hinter einem gewissen Werthe zurückbleibt. Von diesen Vorrichtungen, welche man als Regulatoren im engeren Sinne des Wortes bezeichnen kann, wollen wir nur die einfachste und am häufigsten angewendete besprechen, nämlich das Centrifugalpendel, welches schon vor Watt bekannt war, von ihm aber zuerst bei den Dampfmaschinen zur Anwendung gebracht worden ist.

Das Centrifugalpendel (Fig. 272) oder conische Pendel, das auch schlechtweg der Regulator der Dampfmaschine genannt wird, besteht aus einer aufrechtstehenden Axe, an welcher ein Rad P befestigt ist, das durch die Maschine selbst mittels eines Treibriemen oder eines Zahnrades in Umdrehung versetzt wird. Am oberen Ende O der Axe hängen an ihr zwei Stäbe OA und OA' in Gelenken, welche zwei schwere Metallkugeln B tragen. Von diesen Stäben gehen wieder mittels Gelenken bei A und A' zwei weitere Stäbe aus, welche bei C

eine Hülse M tragen, die lose auf der Axe sitzt und an ihrem unteren Ende einen ringförmigen Einschnitt trägt. In diesen Einschnitt endlich greift das gabelförmige Ende eines Hebels IL ein, der um den Punkt I drehbar ist.

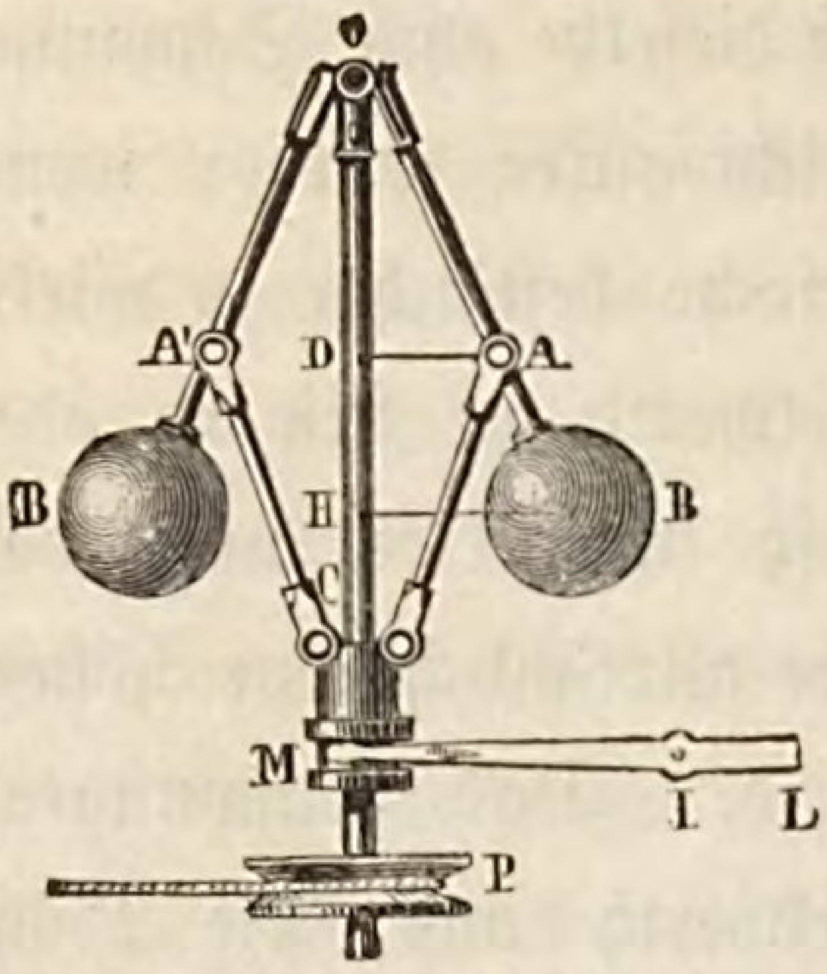


Fig. 272. Centrifugalpendel.

Der ganze Apparat ist nun so abgeglichen, daß bei der normalen Bewegung der Maschine, wenn also die Axe OP eine bestimmte Umdrehungsgeschwindigkeit besitzt, die Kugeln B sich bis auf einen bestimmten Abstand HB von der Axe entfernen und dabei die Hülse M so hoch heben, daß der Hebel IL horizontal steht. Wächst die Geschwindigkeit, so weichen die Kugeln weiter aus und heben dabei die Hülse M, sodaß sich das Ende L des Hebels senkt: bei zu geringer Geschwindigkeit wird sich L dagegen in entsprechender Weise heben. Der Hebel IL steht nun in Verbindung mit einem Drosselventil in dem Rohre, durch welches der Dampf aus dem Kessel in den Cylinder geleitet wird, d. h. einem Ventile, das ähnlich wie die Klappe im Ofenrohre durch eine Drehung weiter geöffnet oder weiter geschlossen werden kann, und zwar schließt er dieses Ventil, wenn sich L senkt, theilweise oder auch vollständig, wenn die Geschwindigkeit gar zu stark anwächst: hierdurch wird der Dampfzufluß verlangsamt oder auch ganz unterbrochen, und der Gang der Maschine wird bald wieder auf die richtige Geschwindigkeit herabsinken. Wird L dagegen gehoben, so wird das Ventil weiter geöffnet, der Dampf strömt reichlicher und erhöht die zu tief herabgesunkene Geschwindigkeit.

Siebentes Kapitel.

Die stehende Dampfmaschine.

§ 1. Die Watt'sche Maschine.

Nachdem wir im vorstehenden Kapitel die einzelnen wesentlichen Theile des Bewegungsmechanismus kennen gelernt haben, wenden wir uns nunmehr zur Betrachtung der vollständigen Maschinen und wollen

stange K und Bleuelstange G, endlich das Schwungrad V mit der Kurbel M; auch läßt sich leicht erkennen, wie der Regulator oder das conische Pendel Z durch Vermittelung eines Riemenlaufes und zweier conischer Zahnräder p durch die Maschine in Umdrehung versetzt wird. Etwas ausführlicher müssen wir dagegen erwähnen, in welcher Weise die Bewegung der Steuerung bewirkt wird: zu diesem Zwecke ist auf der Axe des Schwungrades eine gußeiserne kreisförmige Scheibe, die sogenannte excentrische Scheibe, bei d so befestigt, daß ihr Mittelpunkt nicht mit der Mittellinie der Axe zusammenfällt, sodaß bei der Umdrehung der letzteren der breitere Theil der Scheibe bald nach Rechts und bald nach Links zu liegen kommt. Um diese Scheibe ist ein loser Metallring gelegt, an dem ein langgestrecktes Dreieck d d befestigt ist, welches also bei der Umdrehung der Axe durch den Ring hin- und hergeschoben wird. Der Endpunkt dieses Dreiecks ist an einem Winkelhebel befestigt, welcher in unserer Zeichnung hinter der Dampfkammer verborgen ist: sobald das Dreieck den nach Unten gerichteten Arm des Hebels nach Links drückt, bewegt sich der horizontale nach Oben und schiebt eine Stange, die bis m reicht und dort an der Steuerung befestigt ist, ebenfalls aufwärts; beim Zurückgange des Dreiecks senkt sich zugleich auch die Steuerung. Durch eine Handhabe l läßt sich das Dreieck ausheben, sodaß es nicht mehr in den Winkelhebel eingreift, und hierdurch kommt die Maschine zur Ruhe, weil dann die Steuerung ihren Dienst versagt.

Aus dem Cylinder entweicht der verbrauchte Dampf in den Condensator H, in welchem sich kaltes Wasser befindet, das öfters durch die Röhre t aus der Speisecisterne erneuert wird; dieses einspritzende Wasser bringt aber auch immer kleine Mengen von Luft, die in ihm aufgelöst ist, in den Condensator, und hierdurch würde der Zweck, den die Vorrichtung haben soll, bald verfehlt werden, wenn nicht diese Luft zugleich mit dem Wasser, das sich im Ueberschusse ansammelt, durch eine Pumpe P E, die man deshalb Luftpumpe nennt, entfernt würde. Da der Dampf bei seiner Condensation viel Wärme abgiebt, so ist das Wasser, das sich im Condensator sammelt, schon ziemlich warm und man befördert es deshalb durch die Speisepumpe Y W in den Dampfkessel, während der Speisecysterne R neue Wassermengen aus irgend einem benachbarten Brunnen oder Flusse durch die Pumpe U X zugeführt werden.

zweier aufrechtstehender Ständer bewegt, die einerseits bei K am Cylinder, andererseits bei H am gußeisernen Rahmen der Maschine befestigt sind.

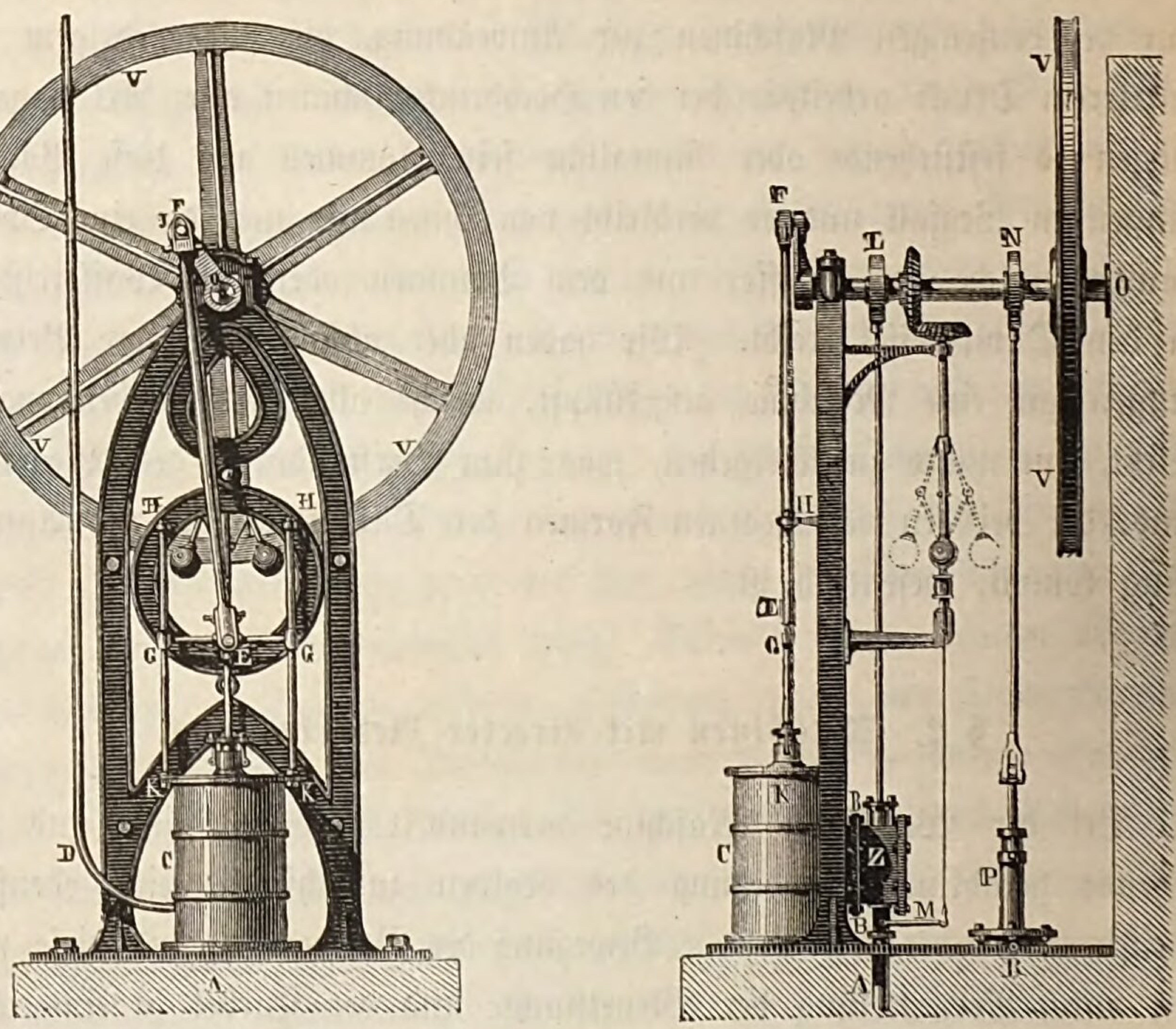


Fig. 274. Senkrechte Dampfmaschine.

A. Dampfzuleitungsrohr. — C. Cylinder. — B Z. Dampfkammer und Schieber. — G H K. Gleitbahn. — E F J O. Bleuelstange, Kurbel und Axe des Schwungrades V. — L. Excentrische Scheibe. — P N. Speisepumpe. — D. Dampfausströmungsrohr.

Auch bei der horizontalen Dampfmaschine, von welcher wir in Figur 275 eine Abbildung geben, ist die Einrichtung eine ganz ähnliche, sodaß es nicht nöthig ist eine speciellere Beschreibung derselben zu geben: bemerken wollen wir nur noch, daß beide Systeme nur bei Maschinen, welche mit Hochdruck arbeiten, mit Vortheil angewendet werden können. Bei den Locomotiven wendet man bald horizontale, bald geneigte Cylinder an, je nachdem sich die eine oder andere Lage besser in die Construction, die man der Maschine geben will, einfügt.

Man hat auch Maschinen ohne Kolbenstange construiert, bei denen die Bleuelstange unmittelbar am Kolben befestigt ist: da diese Stange aber sich nach Rechts und Links bewegen muß, wenn sie die Kurbel in Umdrehung versetzen soll, so muß an dem Kolben ein langer Cylinder

befestigt werden, welcher durch den Deckel des Dampfcylinders hindurchgeht und welcher in seinem Innern der Bleuelstange genügenden Raum zur Seitenbewegung läßt. Dieser Cylinder muß am Kolben mit luft-

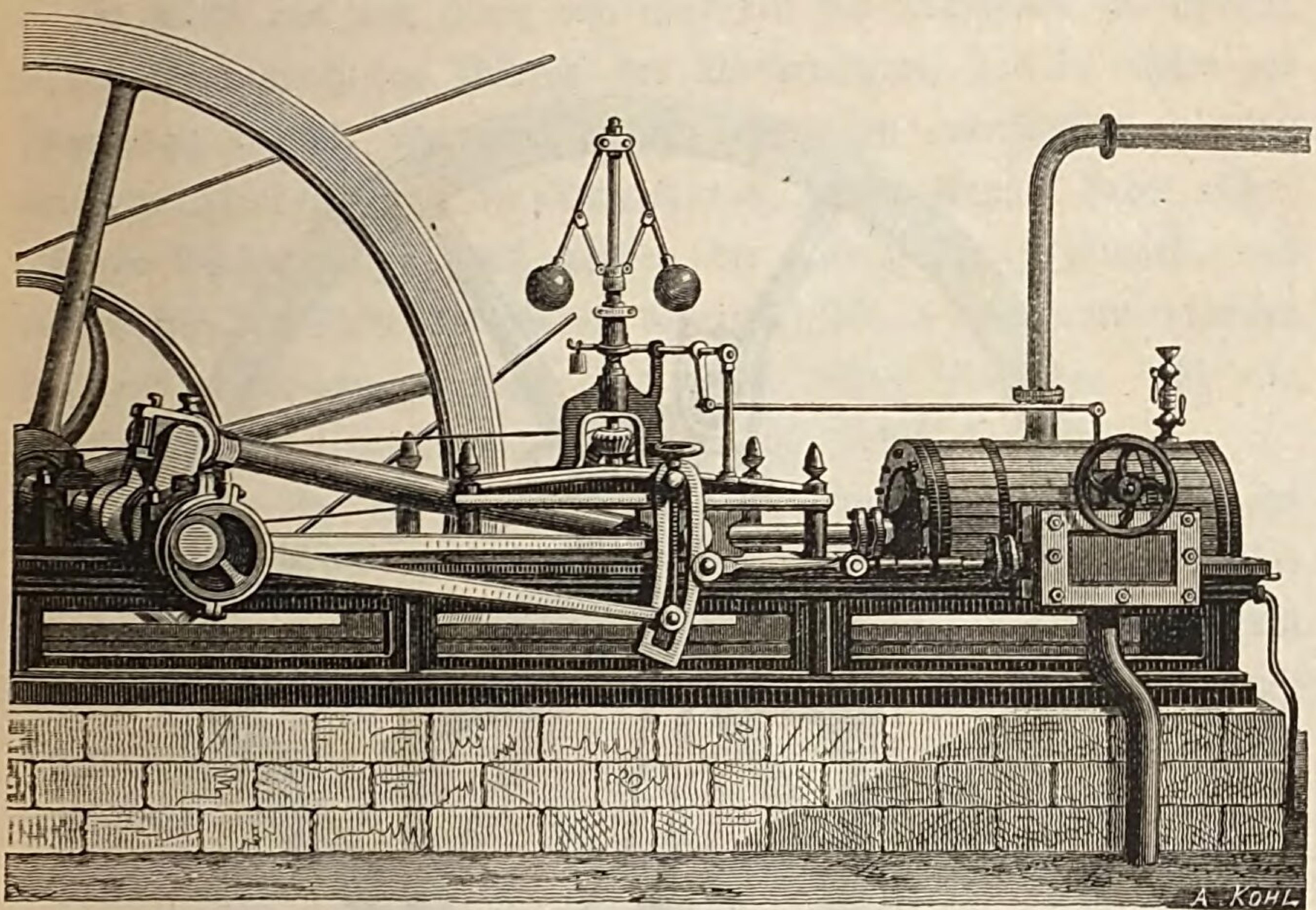


Fig. 275. Horizontale Dampfmaschine.

dichtem Verschlusse anschließen und auch durch den Deckel des Dampfcylinders muß er so hindurch geführt sein, daß bei seiner Hin- und Herbewegung kein Dampf an seiner Seite entweichen kann. Bei dieser Einrichtung wird der Theil der Oberfläche des Kolbens, auf welchen der Dampfdruck wirkt, wenigstens auf der einen Seite bedeutend verkleinert: will man also diesem Uebelstande abhelfen, so muß man den Durchmesser des Cylinders entsprechend größer nehmen. Allein dadurch wird auch die Fläche der Wand, welche den Dampf einschließt, entsprechend vergrößert und der Verlust an Wärme, welche der Dampf an die Außenwände abgiebt, ist verhältnißmäßig ziemlich groß; hierzu kommt noch weiter, daß sich bei diesem Systeme der hermetische Verschluß nur schwer in solcher Vollkommenheit herstellen läßt, daß nicht der Dampf neben dem beweglichen Cylinder entweichen kann. Trotz dieser Uebelstände wird diese Art der Uebertragung doch noch bei den englischen Schiffsmaschinen zur Anwendung gebracht.

verschwunden und man findet sie nur noch auf kleinen Flußdampfern im Gebrauche.

§ 3. Rotierende Dampfmaschinen.

Es bleibt uns noch übrig von einer Art von Maschinen zu sprechen, die sich schon durch das Princip des Mechanismus, das bei ihnen zur Anwendung kommt, von allen bisher betrachteten unterscheidet, nämlich von den rotierenden Dampfmaschinen, deren Namen daher rührt, daß der Maschinentheil, auf welchen der Dampf direct einwirkt, und welcher also die Stelle des Kolben vertritt, selbst in eine ununterbrochene kreisförmige Bewegung versetzt wird. Bei diesen Maschinen fällt also die Aufgabe der Uebertragung der Bewegung vollständig hinweg.

Der Gedanke, das Problem der Benutzung der Dampfkraft auf diese Weise zu lösen, ist nicht neu, denn bereits Watt stellte im Jahre 1782 dahin zielende Versuche an, welche aber bald wieder aufgegeben wurden, weil sich mancherlei Uebelstände, welche diese Anordnung mit sich brachte, damals nicht beseitigen ließen: und selbst jetzt, wo rotierende Maschinen construiert werden konnten, welche eine viel vollkommnere Einrichtung besitzen, sodaß viele dieser Uebelstände vermieden sind, finden dieselben doch nur in einigen Ausnahmefällen im gewerblichen Leben Anwendung. So wird z. B. auf den Kanonenbooten und den kleinen Schraubendampfern der russischen Marine die Bewegung durch die rotierende Scheibenmaschine hervorgebracht, welche von Bishop ersonnen und von Rennie ausgeführt worden ist: eine Maschine, welche zwar sehr geistreich erdacht, in ihrer Einrichtung aber außerordentlich compliciert ist; da dieselbe keine ausgebreitetere Verwendung gefunden hat, so wollen wir sie hier übergehen und uns auf die Beschreibung einer einfacheren beschränken.

Auf der Pariser Ausstellung im Jahre 1867 befand sich eine rotierende Dampfmaschine, welche der Amerikaner Behrens erfunden hatte und von welcher wir in Fig. 277 eine Abbildung geben, während Fig. 278 den inneren Mechanismus anschaulich macht: dieselbe ist in ihrer Einrichtung sehr einfach und arbeitet recht gleichmäßig; sie ist im Wesentlichen nichts anderes, als die Umkehrung der rotierenden Wasserpumpe desselben Erfinders, welche wir im Ersten Buche, Kap. III, § 2, besprochen haben. In einem Hohlraume, welcher aus zwei in einander

greifenden cylindrischen Abtheilungen a a′ besteht, drehen sich zwei parallele Axen C und C′, deren jede einen scheibenförmigen Ansatz E und E′ trägt, dessen äußerer Umfang mit dem Umfange der Axe concentrisch

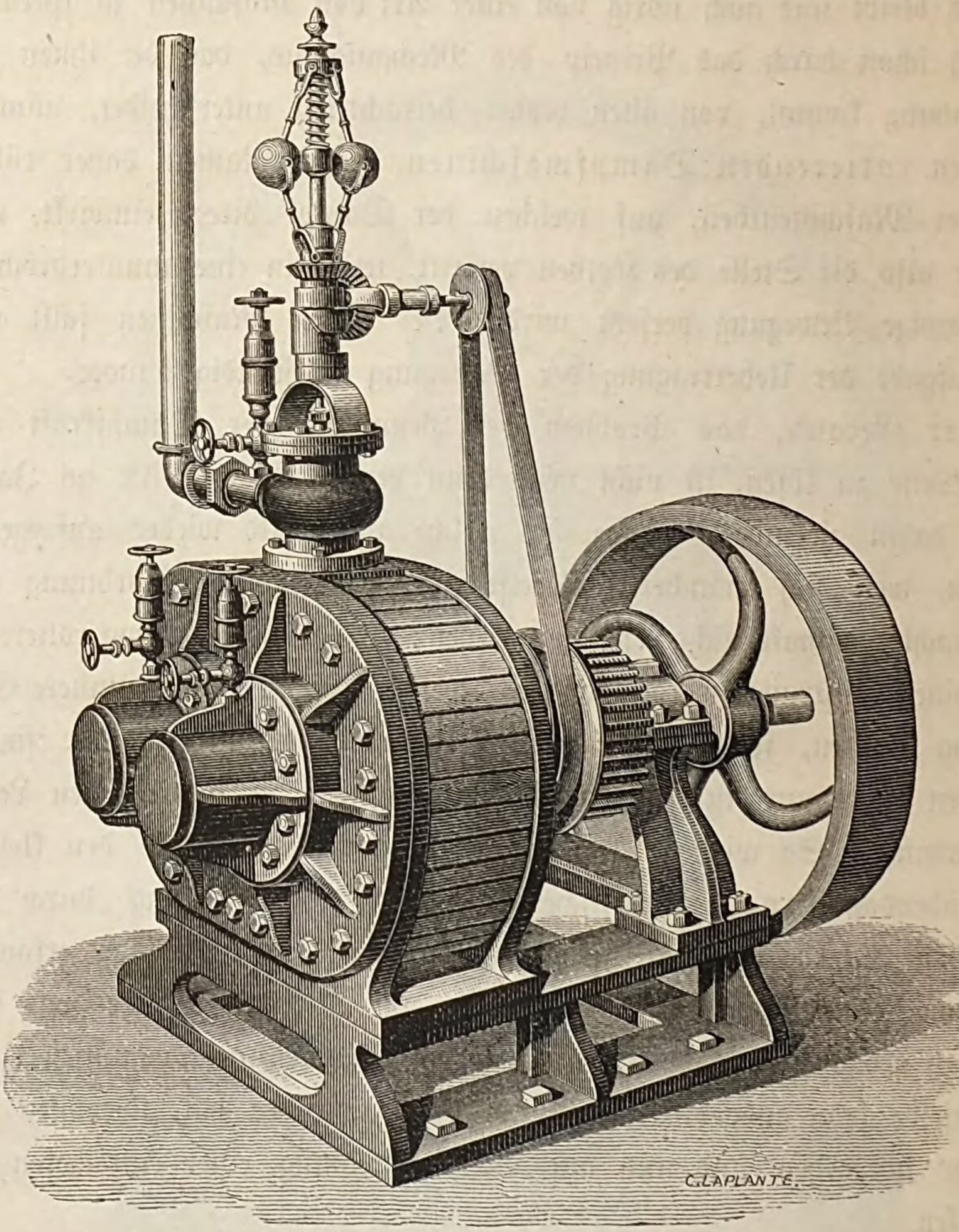


Fig. 277. Rotierende Dampfmaschine von Behrens: äußere Ansicht.

ist, der aber nur zur Hälfte um die Axe herum reicht. Diese Scheiben sind mit den Axen durch einen Kopf verbunden, sodaß sie bei ihrer Umdrehung die Axen mit bewegen; mit ihren äußeren Flächen gleiten sie längs der inneren Wände des Doppelcylinders A A, an welche sie vollkommen luftdicht anschließen, während ihre inneren Flächen beständig auf Hülsen c und c′ aufliegen, die die Axen bis auf einen Einschnitt

an der inneren Seite concentrisch umschließen. Die Gestalt der verschiedenen Theile ist so berechnet, daß jede der Scheiben E und E′, welche die Stelle des Dampfkolben vertreten, bei ihrer Umdrehung in den Raum, der zwischen den beiden Axen frei bleibt, gerade eintritt,

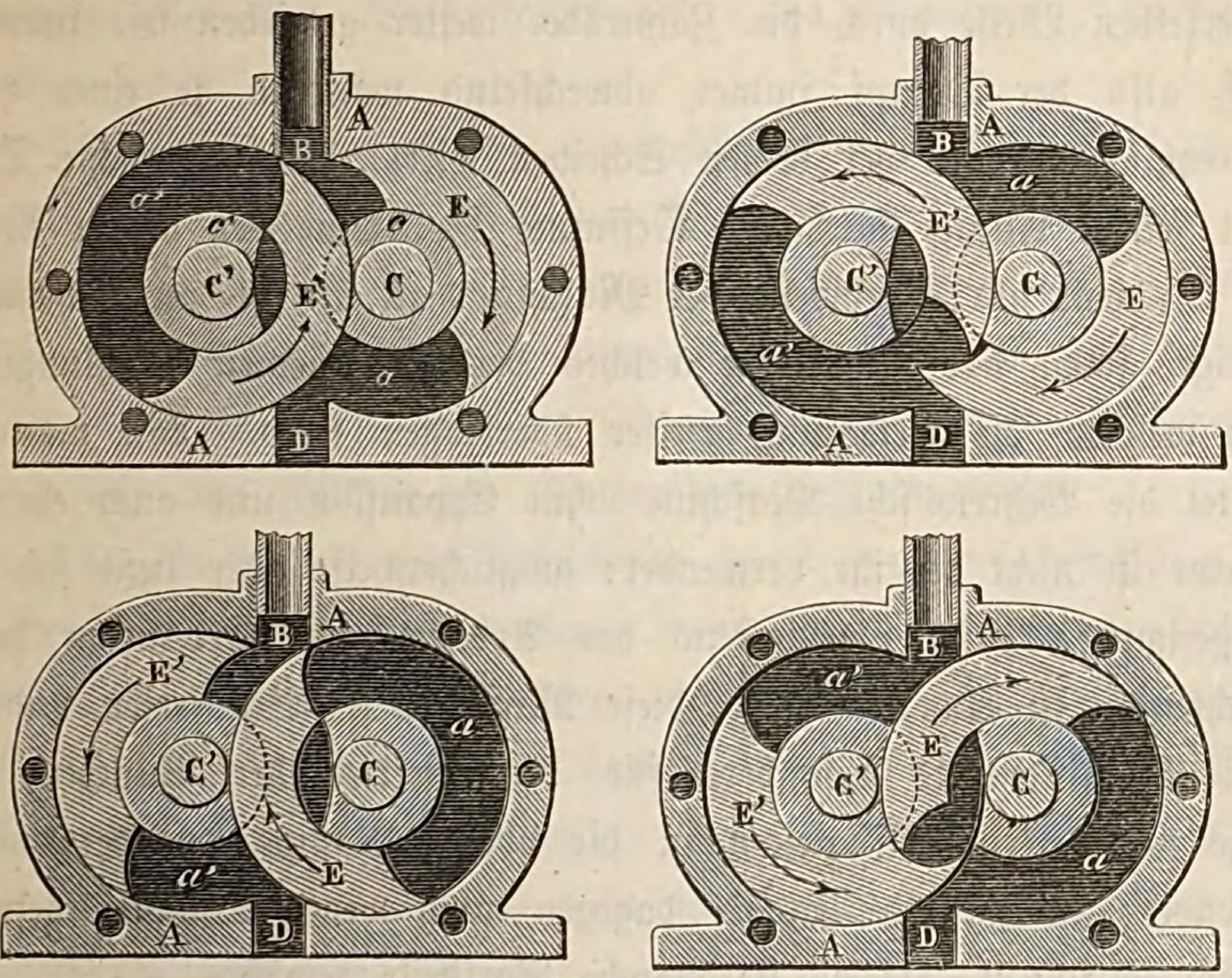


Fig. 278. Phasen der Bewegung während einer Umdrehung der rotierenden Dampfmaschine von Behrens.

wenn die andere denselben verläßt: durch diese Anordnung wird bewirkt, daß der Dampf niemals zwischen die eine Scheibe und den Raum, der in der Hülse der anderen Axe ausgespart ist, eindringen kann.

Der Dampf dringt durch das Leitungsrohr B ein und gelangt, wenn die Scheiben die Stellung haben, wie in der ersten Abbildung der Fig. 278, in den Raum, der zwischen den beiden Scheiben und der Hülse c liegt, stößt gegen die convexe Fläche von E′ und die concave Fläche von E, infolge dessen die letztere Scheibe in der Richtung des Pfeiles weiter getrieben wird und die Axe C mit sich nimmt. Die beiden Axen C und C′ aber tragen äußerlich gleiche Zahnräder, welche in einander eingreifen, sodaß bei der Umdrehung der Axe C auch die Axe C′ in gleich schnelle Umdrehung im entgegengesetzten Sinne versetzt wird. Die Stellungen, welche die Kolben nun weiter annehmen, kann man in den folgenden Abbildungen der Figur 278 leicht weiter ver=

folgen: in der dritten Phase, welche dort dargestellt ist, hat sich E so weit gedreht, daß es den Raum a nach dem Dampfleitungsrohre hin absperrt, sodaß der Dampf nicht mehr gegen E, wohl aber gegen E′ wirken kann. Von diesem Augenblicke an wird die Bewegung nicht mehr durch die Scheibe E bewirkt, sondern durch E′, und E wird nun in derselben Weise durch die Zahnräder weiter getrieben wie zuvor E′, sodaß also der Dampf immer abwechselnd während je einer halben Umdrehung auf eine der beiden Scheiben wirkt; der verbrauchte Dampf findet seinen Abzug durch die Oeffnung D. Eine der beiden Axen C oder C′ dient als Triebwelle der Maschine: an ihr ist ein Schwungrad befestigt, sowie das Rad, um welches der Treibriemen geschlungen ist, durch welchen die Bewegung weiter übertragen wird. Wie man sieht, arbeitet die Behrens'sche Maschine ohne Expansion und auch ein Condensator ist nicht bei ihr verwendet: möglicherweise aber ließe sich durch ein geeignetes Ventil wenigstens das Arbeiten mit Expansion bei ihr einrichten. In Amerika wird diese Maschine in Brauereien und ähnlichen Etablissements besonders für den Betrieb der Pumpen, durch welche mancherlei Flüssigkeiten in die oberen Räume befördert werden, verwendet; in Europa hat sie dagegen noch wenig Eingang gefunden, obgleich es scheint, als ob sie manche Vortheile gewähre.

§ 4. Leistungen der Dampfmaschine.

Fassen wir noch einmal mit wenigen Worten die Ergebnisse der letzten drei Kapitel zusammen, so sehen wir, daß die Vorgänge in dieser Reihenfolge nach einander eintreten:

1. In einem Dampferzeuger, einem Dampfkessel wird die Kraft, welche ein Brennstoff, z. B. Steinkohle, beim Verbrennen liefert, in elastische Kraft verwandelt, die sich weiter zu mechanischen Zwecken verwenden läßt. Die Kraft aber, welche die Brennstoffe liefern, ist die Wärme, welche vom Feuerherde aus in die Wände des Kessels eindringt, die dem Herde zunächst benachbart sind und also die Heizfläche bilden. Von dieser Fläche aus geht die Wärme in das Wasser des Kessels über, erhöht dessen Temperatur und veranlaßt und unterhält die Dampfbildung, sodaß durch ihre Einwirkung beständig eine genügende Dampfmenge im Dampfraume vorräthig gehalten wird, deren Spannung

ausreichend ist um die von der Maschine geforderte Arbeit zu leisten. Der Dampferzeuger der Maschine besteht also in seiner Gesammtheit aus dem Feuerherde mit Rost und Aschenbehälter, den Heizröhren und dem Schornsteine, aus dem Rumpfe des Dampfkessels und den Siederohren, und zu ihm gehören als nothwendige Nebenapparate die Sicherheitsventile aller Art, Wasserstandsmesser und Manometer, welche wir besprochen haben.

2. Ist der Dampf im Kessel entwickelt, so wandert er in die eigentliche Maschine im engeren Sinne des Wortes und bewirkt in ihr zuerst eine Bewegung, die durch geeignet vertheilte Apparate immer wieder von Neuem beginnt: der zweite Theil der Dampfmaschine ist also der Bewegungsmechanismus, der sich aus Dampfkammer, Steuerung, Cylinder mit dem Kolben und Condensator zusammensetzt.

3. Die im Bewegungsmechanismus zuerst erzeugte Bewegung muß nun aber weiter umgeformt werden, bevor sie zu den Zwecken tauglich ist, die man erreichen will, und dies geschieht durch den Mechanismus der Uebertragung oder die Transmission, welche gewöhnlich die geradlinige oscillierende Bewegung in eine gleichmäßige Rotation verwandelt. Gerade in Bezug auf diese Uebertragung haben wir mancherlei verschiedene Einrichtungen, die man zur Anwendung gebracht hat, kennen gelernt: wir erinnern nur an den Balancier mit Parallelogramm und Bleuelstange, an Kurbel und Triebwelle, sowie an die Laufschienen, welche das Ausweichen der Kolbenstange verhindern; doch auch das Schwungrad und der Regulator sind hierher zu rechnen, da sie auch das Wesen der Bewegung bestimmen, dieselbe nämlich zu einer gleichmäßigen machen.

Ist man sich über diese verschiedenen Vorgänge und über die Anordnung der Apparate, durch welche das Eintreten derselben herbeigeführt wird, wenigstens in der Hauptsache einmal klar geworden, so wird man auch leicht in das Verständniß der verschiedenen Formen eindringen, die man den Dampfmaschinen seit der Zeit, daß die Dampfkraft zuerst zur Anwendung gebracht worden ist, gegeben hat: man wird ohne befürchten zu müssen, daß man sich stark irren könnte, bei jeder Maschine, wie sie jetzt so zahlreich im gewerblichen Leben, in der Schifffahrt, auf Eisenbahnen und in der Landwirthschaft eingeführt sind, die Function jedes Theiles wiedererkennen und die gesammte Thätigkeit überblicken.

Bevor wir jedoch zu den Maschinen, die den zuletzt erwähnten Zwecken dienen, übergehen, ist es nöthig, daß wir uns darüber kurz aussprechen, nach welchen Grundsätzen die Kraft der Dampfmaschine zu berechnen ist.

Das erste Moment, von welchem die Leistung abhängt, ist der Druck, den der Dampf ausübt, die Spannung, auf welche er durch Erhitzen gebracht ist: beträgt dieselbe nur etwa 1½—2 Atmosphären, so nennt man die Maschine eine Niederdruckmaschine; bei einer solchen ist stets ein Condensator angebracht. Steigt die Spannung auf 3—5 Atmosphären, so hat man eine Maschine mit mittlerem Drucke: auch diese arbeitet gewöhnlich mit Condensator, wiewohl hier derselbe schon entbehrt werden kann; endlich in den Hochdruckmaschinen, welche meist ohne Condensator arbeiten, übersteigt die Spannung des Dampfes 5 Atmosphären. Der Zweck des Condensators ist, wie wir früher sahen, der, daß auf der Seite, nach welcher sich der Kolben bewegt, ein luftleerer Raum entstehe und dadurch der Druck der äußeren Luft, welcher durchschnittlich gleich einer Atmosphäre gesetzt werden kann, aufgehoben werde: fehlt der Condensator, so wirkt auf den Kolben dem Dampfdrucke entgegen ein Druck von etwa einer Atmosphäre, welcher also die Kraft des Dampfes um eben soviel herabmindert. Beträgt also der Dampfdruck selbst z. B. nur 3 Atmosphären, so würde beim Fehlen des Condensators der dritte Theil desselben verloren gehen: hat der Dampf dagegen eine Spannung von 10 Atmosphären, so beträgt der Verlust nur noch den zehnten Theil und würde nicht so viel ausmachen, als die Kraft beträgt, die zum Betriebe der Luftpumpe und der zweiten Speisepumpe erforderlich ist; in diesem Falle ist es daher vortheilhafter vom Condensator abzusehen.

Weiter hängt die Kraft der Maschine von der Größe des Kolbens ab: denn je größer die Fläche ist, auf welche der Dampf drückt, desto größer ist auch der Gesammtdruck; derselbe beträgt auf jeden Quadratcentimeter für jede Atmosphäre 1,033 Kgr.: diese letztere Zahl muß also mit der Zahl der Atmosphären und weiter mit der Zahl der Quadratcentimeter, welche der Kolben hält, multipliciert werden. Endlich hängt die Kraft von dem Wege ab, welchen der Kolben in einer bestimmten Zeit zurücklegt, oder mit anderen Worten von der Länge des Cylinders und der Zahl der Stöße, die der Kolben in einer bestimmten Zeit, etwa in einer Minute oder in einer Stunde ausführt;

diese Größe steht aber in directem Verhältnisse mit der Menge des Dampfes, welche der Dampfkessel in derselben Zeit beim regelmäßigen Gange der Maschine liefert. Die Arbeit aber, die der Kolben leistet, wird keineswegs vollständig auf die Triebwelle und das Schwungrad übertragen, sondern ein guter Theil derselben wird zur Ueberwindung der Reibung und anderer Widerstände in den Uebertragungsmaschinen aufgebraucht: will man also wissen, welche Arbeitsleistung von einer Maschine zu erwarten ist, so muß man die Arbeit, die man für den Kolben berechnet hat, in bestimmtem Maße, welches durch die Erfahrung ermittelt worden ist, vermindern.

Jede Arbeit vergleicht man immer mit einem Gewichte, welches auf eine bestimmte Höhe gehoben wird: denn bei jeder Leistung muß immer ein gewisser Widerstand, sei es Reibung oder der Druck einer Feder oder das Gewicht einer zu hebenden Last, überwunden werden; jeder dieser Widerstände kann aber gleich einer Anzahl Kilogramme gesetzt werden und der Weg, längs dessen er überwunden wird, läßt sich ebenfalls mit der Hubhöhe eines Gewichtes gleichsetzen. Man berechnet also die Größe einer geleisteten Arbeit, indem man die Größe des in Kilogrammen ausgedrückten Widerstandes mit der Länge des Weges, längs dessen er überwunden wird, multipliciert und dem Producte die Benennung Meterkilogramm giebt. Bei dieser Berechnung haben wir auf die Zeit noch gar keine Rücksicht genommen: fragt man dagegen, wie viel Arbeit auf die Zeiteinheit z. B. die Secunde kommt, so bezeichnet man diese Angabe als den Effect. Bei der Berechnung des Effectes einer Maschine wählt man aber eine noch etwas größere Einheit, die Pferdekraft, und setzt diese in der Praxis gleich 75 Meterkilogramme.

Der Grund, weshalb man diese Einheit eingeführt hat, ist folgender. Als Watt an den ersten Dampfmaschinen die Verbesserungen angebracht hatte, welche veranlaßten, daß die Maschinen in den englischen Bergwerken und in der englischen Industrie Eingang fanden, so verlangten die Besteller, daß die Fabrikanten für eine gewisse Arbeitsleistung der Maschinen gutsagten. Da nun in den Bergwerken vorwiegend Pferde verwendet wurden, welche den Göpel drehen mußten, so nahm man die mittlere tägliche Arbeit dieser Thiere als Maßstab an und drückte die Kraft der Maschine dadurch aus, daß man angab, wie viel Pferde durch

sie ersetzt wurden. Man gelangte bei den Versuchen zu einem Werthe, der in metrisches Maß verwandelt ungefähr 75 Meterkilogramm ergiebt, und so rechnet man jetzt allgemein die Pferdekraft zu 75 Meterkilogrammen, versteht also darunter eine Kraft, welche stark genug ist um in jeder Secunde 75 Kilogramm einen Meter hoch zu heben. Drückt man nun die Kraft einer Dampfmaschine in Pferdekräften aus, so darf man nicht übersehen, daß dieselbe möglicherweise Tag und Nacht im Gange bleiben kann, wie dies bei den zur Hebung der Grubenwässer aufgestellten Maschinen der Fall ist, während das wirkliche Pferd nur eine viel kürzere Zeit während eines Tages in Thätigkeit bleibt und dann nothwendig ruhen muß. Eine Dampfmaschine von einer Pferdekraft leistet also während eines vollen Tages, d. i. während 86,400 Secunden eine Arbeit von 86,400 × 75 oder 6,480,000 Meterkilogrammen, während ein wirkliches Pferd, das man acht Stunden lang im Pferdegöpel gehen läßt, nur den dritten Theil dieser Arbeit liefern würde. Und selbst diese letzte Annahme ist noch zu hoch: denn Versuche, welche man später mit Arbeitspferden angestellt hat, haben gezeigt, daß Watt bei seinen Untersuchungen wohl Pferde angewendet hat, deren Kräfte das Mittel weit überschreiten, und daß er dieselben vielleicht auch noch über die Maßen angestrengt hat; freilich werden auch noch jetzt in den Kohlenwerken Englands meistens besonders kräftige Pferde flämischer Rasse angewendet, von denen Lenz (Naturg., 4. Aufl., I, 430) sagt: „Diese Riesen, welche man auch Kohlenpferde nennt, sind äußerst stark und dabei sehr fromm.“ Für die Arbeitspferde auf dem Continent hat sich nur eine mittlere Arbeitskraft von 40½ Meterkilogramm ergeben, sodaß, wenn man ein solches Pferd acht Stunden lang täglich arbeiten läßt, eine Zeit, die wohl nicht überschritten werden darf, es nur eine Arbeit von 1,166,400 Meterkilogramm liefert. Als Ersatz für eine Dampfmaschine von einer Pferdekraft, welche Tag und Nacht ununterbrochen im Gange bleibt, müßte man also fünf Pferde acht Stunden und noch ein sechstes über vier Stunden lang arbeiten lassen.

Die gesammte Kraft, welche zur Wirkung kommt, rührt nun von der Spannung des Dampfes her, der im Dampfkessel entwickelt wird, und so steht die Arbeit, die von der Maschine geleistet wird, im directen Verhältnisse mit der Menge oder richtiger mit dem Gewichte des Dampfes, das in einer gewissen Zeit, z. B. in einer Stunde, geliefert wird: diese

Menge aber ist wieder abhängig von der Größe der Heizfläche, sodaß man annehmen kann, daß unter sonst vollständig gleichen Bedingungen derjenige Dampferzeuger die größte Kraft giebt, welcher dem Herde und den entweichenden Gasen die größte Heizfläche darbietet. Auch der Verbrauch an Kohlen steht offenbar mit der Größe der Heizfläche im directen Verhältnisse, allein auch die ganze Construction der Maschine ist hierauf von dem größten Einflusse und der Bedarf an Heizungsmaterial, das für die Entwickelung einer bestimmten Kraft erforderlich ist, stellt sich sehr verschieden, je nachdem die Maschine mit niedrigem, mittlerem oder hohem Drucke, mit oder ohne Expansion arbeitet, und je nachdem sie mit Condensator versehen ist oder nicht. Auf dem Wege der Erfahrung hat man als Regel festgestellt, daß man für jede Pferdekraft eine Heizfläche von 1 bis 1½ Quadratmeter rechnen muß: eine Maschine von 10 Pferdekräften muß also eine Heizfläche von 10 bis 15 Quadratmetern haben. Weiter rechnet man, daß für jede Pferdekraft in der Stunde 20 Kilogramm oder, was nahezu dem gleich kommt, 20 Liter Wasser in Dampf verwandelt werden müssen: demnach würde dieselbe Maschine stündlich 2 Hectoliter Wasser verdampfen. Was den Verbrauch an Heizmaterial betrifft, so ist derselbe, wie schon erwähnt, nicht für alle Maschinen derselbe: so verbraucht die Watt'sche Maschine mit niedrigem Druck für die Pferdekraft stündlich 5—6 Kgr. Steinkohle, während die Woolff'sche nur etwa 3 Kgr. verbraucht; für eine Hochdruckmaschine ohne Condensator aber mit Expansion rechnet man ungefähr 4—5 Kgr.

Schließlich wollen wir nun noch die Frage beantworten, wie man aus der Spannung des Dampfes, aus den Dimensionen des Cylinders und aus der Geschwindigkeit, mit der sich der Kolben hin- und herbewegt, d. h. aus der Anzahl der Stöße, die er in einer bestimmten Zeit, in einer Minute oder einer Stunde, ausführt, den Effect des Kolbens berechnen kann. Den Druck wollen wir hierbei immer so groß annehmen, wie ihn das Manometer angiebt, wenngleich Pambour darauf aufmerksam gemacht hat, daß der Druck im Cylinder niemals ebensogroß sein kann, als im Dampfkessel: wir dürfen uns solche Ungenauigkeiten um so eher erlauben, als es uns ja nur darum zu thun ist den Gang der Rechnung zur Anschauung zu bringen und durch ein bestimmtes Beispiel klar zu machen. Giebt also z. B. das Manometer bei einer Dampf-

maschine mit Condensator einen Druck von 4 Atmosphären, oder bei einer Maschine ohne Condensator einen Druck von 5 Atmosphären an, in welchem letzteren Falle eine Atmosphäre wegen des Gegendruckes der äußeren Luft zurückgerechnet werden muß, wie wir bereits oben erwähnten, so werden wir in beiden Fällen den Druck auf den Kolben gleich 4 Atmosphären setzen. Daß man nun mit der Zahl der Atmosphären und mit der in Quadratcentimetern ausgedrückten Oberfläche des Kolbens 1,033 Kgr. multiplicieren muß, wenn man den Druck in Kilogrammen angeben will, ist bereits erwähnt: hat z. B. der Kolben einen Durchmesser vor 40 cm, beträgt also seine Oberfläche $3{,}14 \times 20 \times 20 = 1256$ qcm, so ist der Druck bei 4 Atmosphären Dampfspannung $4 \times 1256 \times 1{,}033 = 5190$ Kgr. Rückt nun der Kolben im Cylinder weiter und überwindet er dabei die Reibung und leistet er Arbeiten verschiedener Art, so kann man die Summe aller dieser Leistungen immer gleich dem Drucke setzen, der die Arbeit verrichtet: es ist also im vorliegenden Falle so gut, als ob der Kolben in jedem Augenblicke ein Gewicht von 5190 Kgr. weiter bewege. Ist nun der Cylinder 40 cm lang, so wird der Kolben jedesmal, wenn er seinen Weg zurückgelegt hat, eine Arbeit von $5190 \times 0{,}4 = 2076$ Meterkilogrammen geleistet haben, also bei jedem Kolbenstoße, bei dem der Weg zweimal durchlaufen wird, beträgt die geleistete Arbeit 4152 Meterkilogrammen. Weiß man weiter, wie viele Stöße der Kolben in einer bestimmten Zeit macht, so kann man für diese Zeit die Arbeitsleistung und hieraus den Effect oder die Arbeit in einer Secunde berechnen. Bewegt sich der Kolben z. B. in jeder Secunde einmal den Weg hin und zurück, eine Geschwindigkeit, die nicht leicht überschritten wird, so wird der Effect 4152 Meterkilogramme, also mehr als 55 Pferdekräfte betragen: ist die Zahl der Kolbenstöße aber nur 44 in der Minute, so beträgt die Arbeit in der Minute 182,688, also der Effect 3045 Meterkilogramme oder etwas über 40 Pferdekräfte. Diese Arbeit des Kolben kann aber keinesfalls nutzbar gemacht werden, sondern der bei weitem größte Theil wird zur Ueberwindung der Reibung in den verschiedenen Maschinentheilen aufgebraucht, und nur ein kleiner Theil des Effectes, den man Nutzeffect nennt, läßt sich mechanisch verwerthen.

ihr Geschäft zu bedrohen schien, aufgereizt worden waren, das Schiff und die Maschine zertrümmert.

Der nächste, welcher sich mit dieser Aufgabe beschäftigte, war der Engländer J. Hull, der im Jahre 1737 den Vorschlag machte, die Ruder durch zwei Schaufelräder zu ersetzen, welche am Hintertheile des Schiffes anzubringen seien und deren gemeinsame Axe durch eine Maschine von Newcomen in Umdrehung versetzt werden sollte. Allein dieser Vorschlag wurde nicht ausgeführt, sondern die ersten wirklichen Versuche nach Papin wurden auf der Seine angestellt und zwar im Jahre 1774 durch den Grafen Auxiron und im Jahre 1775 durch Périer, welcher infolge dessen zum Mitglied der Akademie der Wissenschaften ernannt wurde, trotzdem daß seine Versuche nicht sehr großen Erfolg hatten.

Einen besseren Erfolg hatten die Bemühungen des Marquis von Jouffroy, welcher im Jahre 1778 bei Baume-les-Dames den Doubs und drei Jahre später die Saone bei Lyon mit Dampfbooten befuhr. In dem letzteren Falle, welcher eine sehr günstige Besprechung fand, bediente er sich eines Bootes von 46 m Länge und 4½ m Breite: auf demselben war eine atmosphärische Dampfmaschine aufgestellt, die ihre Bewegung auf zwei flügelartige Klappen übertrug, welche sich abwechselnd schlossen und öffneten; später wurde diese Vorrichtung durch zwei Schaufelräder ersetzt.

Weiter hat sich der Schotte Patrick Miller um die weitere Ausführung des von Papin angeregten Gedankens große Verdienste durch ein Werk erworben, welches er im Jahre 1787 in Edinburg veröffentlichte und worin er die Anwendung der Dampfkraft als Motor auf Schiffen und die Einführung der Schaufelräder an Stelle der Ruder empfahl; später soll er selbst im Jahre 1789 die Schweizer Seen auf einem Fahrzeuge befahren haben, das aus zwei Booten zusammengesetzt war und durch ein Rad getrieben wurde, welches sich zwischen den Booten befand und durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wurde. Von dieser Zeit an wurden die Versuche, welche die Lösung der Aufgabe die Dampfkraft zur Bewegung der Schiffe anzuwenden zum Ziele hatten, immer zahlreicher und das Problem ging unter den Händen des Abbé Darnal in Frankreich (1781), der Amerikaner Rumsay, Fish (1786—88) und Livingstone (1798), und der Engländer Lord Stanhope (1795), Baldwin (1796), Desblancs, Smington, Stevins, Oliver

deren Gebrauch sie vielleicht von den Carthaginiensern gelernt hatten, auf ihren Schiffen gebraucht zu haben: wenigstens hat man alte Medaillen gefunden, auf denen leichte Galeeren, sogenannte Naves liburnae, dargestellt waren, die auf beiden Seiten drei Paare von Schaufelrädern trugen, welche durch sechs Ochsen in Umdrehung versetzt wurden. Ebenso sollen bei den Chinesen seit unvordenklichen Zeiten Kähne oder Junken mit vier Rädern im Gebrauche sein, welche durch einen ziemlich künstlichen, von Männern gehandhabten Mechanismus in Bewegung gebracht werden. Weiter beschrieb Valturius de Rimini schon im Jahre 1472 ein Rad, dessen Schaufeln die Stelle der Ruder ersetzten und das durch eine Kurbel in Umdrehung versetzt wurde, und du Quet schlug 1699 der Academie der Wissenschaften zu Paris den Gebrauch eines ähnlichen Bewegungsapparates vor. Als endlich einige Jahre später Papin seine Vorschläge bezüglich der Verwendung der Dampfkraft für die Schifffahrt machte, gedenkt er auch eines Schaufelrades, das er im Jahre 1678 in England an einer dem Pfalzgrafen Ruprecht gehörigen Schalupe gesehen hatte, und bemerkt, daß dasselbe durch Pferde gedreht wurde, die in einem Göpel gingen.

Allein diese Vorrichtungen, welche dazu dienen sollten die Boote und Schiffe weiter zu treiben, konnten doch erst eine ernstliche Anwendung finden, nachdem man gelernt hatte eine stärkere mechanische Kraft sich dienstbar zu machen, nachdem mit anderen Worten die Dampfmaschine erfunden und bis zu einem gewissen Grade der Vollkommenheit durch Watt's Verdienste weiter entwickelt worden war: und so werden erst von der Zeit an, in welche Fulton's Entdeckungen fallen, also seit Anfang dieses Jahrhunderts die Flüsse, Seen und Meere von Schiffen und Booten befahren, die durch Schaufelräder weiter getrieben werden.

Das erste Vorbild für das Schaufelrad mag wohl das Mühlrad gegeben haben, und zwar ist es das sogenannte unterschlächtige Mühlrad, welches in seinem Baue dem Schaufelrade der Dampfboote zum Muster gedient hat: so wie man nämlich beobachtete, daß jenes durch den Stoß des strömenden Wassers weiter getrieben wird, so schloß man weiter, daß es umgekehrt eine Fortbewegung des Fahrzeuges, an dem es angebracht wird, bewirken muß, wenn es durch irgend eine andere Kraft in Umdrehung versetzt wird und infolge dessen gegen das Wasser stößt. Die Schaufeln, welche in der Richtung der Radien von der Axe aus-

ruders, während die andere Schraube mit fester Axe am Hintertheile des Schiffes angebracht wurde und nur zur Weiterbewegung des Schiffes diente. Außerdem haben sich um die Vervollkommnung dieses Instrumentes noch mehrere Andere Verdienste erworben, wie z. B. Shorter (1802) und Samuel Brown (1825) in England, ferner der Geniehauptmann Delisle (1823), die Brüder Bourdon und Sauvage (1832) in Frankreich. Doch die wirkliche Lösung des Problems ist erst um das Jahr 1837 fast gleichzeitig zwei bedeutenden Mechanikern gelungen, nämlich dem Engländer Smith und dem Schweden Ericson. Der Archimedes, ein Dampfschiff von 90 Pferdekräften ist das erste Fahrzeug, welches im Jahre 1838 unter Anwendung einer Schiffsschraube nach Smith'schem Systeme die Gewässer befahren hat, und vier Jahre später wurde der Princeton, Schraubendampfer nach Ericsons Systeme, der mit einer Maschine von 220 Pferdekräften ausgerüstet war, in Amerika von Stapel gelassen.

Die ersten Versuche des Schweden Ericson fanden im Jahre 1837 in England statt: ein Schiff, der Francis B. Odgen, das mit seiner Maschine ausgerüstet war, wurde verwendet um einen Schooner von 140 Tonnen zu bugsieren und führte diese Arbeit mit einer Geschwindigkeit von 7 engl. Meilen in der Stunde aus. Da aber Ericson in England auf keine Weise Unterstützung fand, so wanderte er in die Vereinigten Staaten, wo seine Erfindung mit der Begeisterung begrüßt wurde, die sie verdiente. Vor seiner Abreise hatte er sich mit Stockton, einem amerikanischen Marineoffizier, in Einvernehmen gesetzt und beide fuhren gemeinsam auf einem Schraubendampfer von 70 Pferdekräften, welcher dem letzteren zu Ehren den Namen Robert Stockton erhielt, über den Ocean nach den Vereinigten Staaten, wo alsbald der Princeton auf jenes erste in England gebaute Schiff folgte. Seit jener Zeit hat sich diese wichtige Erfindung immer weiter ausgebreitet, und nicht allein auf Kriegsschiffen, für welche sie wie erwähnt noch von ganz besonderer Wichtigkeit ist, hat sie die Schaufelräder vollständig verdrängt, sondern auch auf Handelsschiffen, auf Packetbooten, ja sogar auf Flußdampfern hat sie immer mehr Eingang gefunden, wenn auch in diesen Fällen die Schaufelräder, die auch gewisse Vortheile gewähren, nicht vollständig verdrängt worden sind.

Die ersten Schrauben, welche Smith anwendete, bestanden aus einem

vollen Schraubengange, welcher einmal um die Axe herumlief: später dagegen brachte er an der Axe eine doppelte Schraubenwindung an, führte jede derselben aber nur ein halb Mal um die Axe herum; beide Constructionen lassen sich aus Fig. 280 leicht erkennen. Doch bald

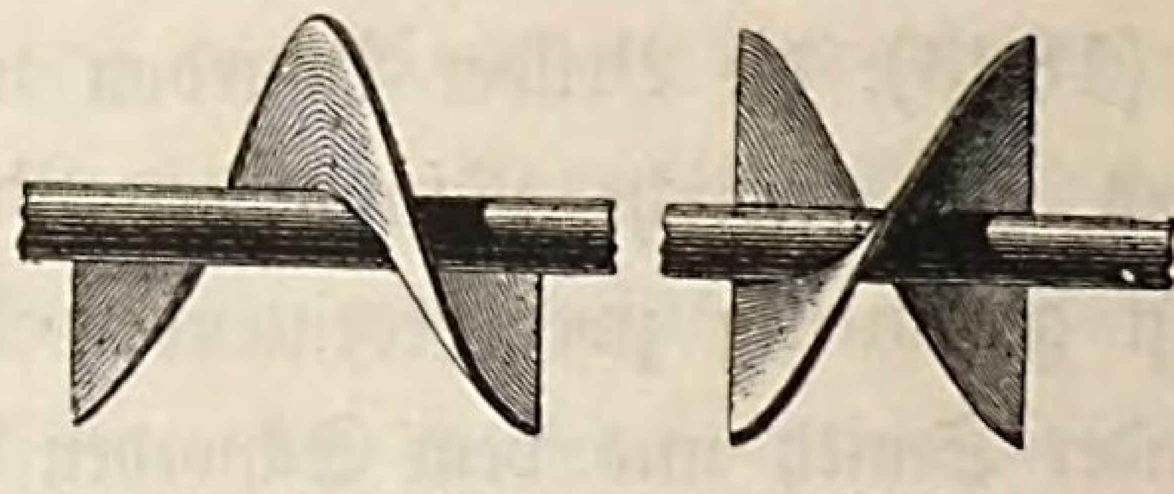


Fig. 280. Aelteste Constructionen der Schiffsschraube nach Smith.

lehrte die Erfahrung, daß es viel vortheilhafter sei, die Ausdehnung der Schraubengänge in der Richtung der Axe bedeutend zu verringern: man ließ nur kleine Bruchtheile der Schraubengänge in Form von Armen oder Windflügeln noch bestehen, vervielfältigte aber die Zahl dieser Arme. Endlich hat man aber auch noch erkannt, daß eine Vergrößerung der Zahl der Arme ebenfalls keinen Nutzen gewährt, indem sich die letzteren nur in ihrer Wirkung stören, und so bringt man jetzt an den Schiffsschrauben gewöhnlich nur zwei oder höchstens vier Flügel an (Fig. 281),

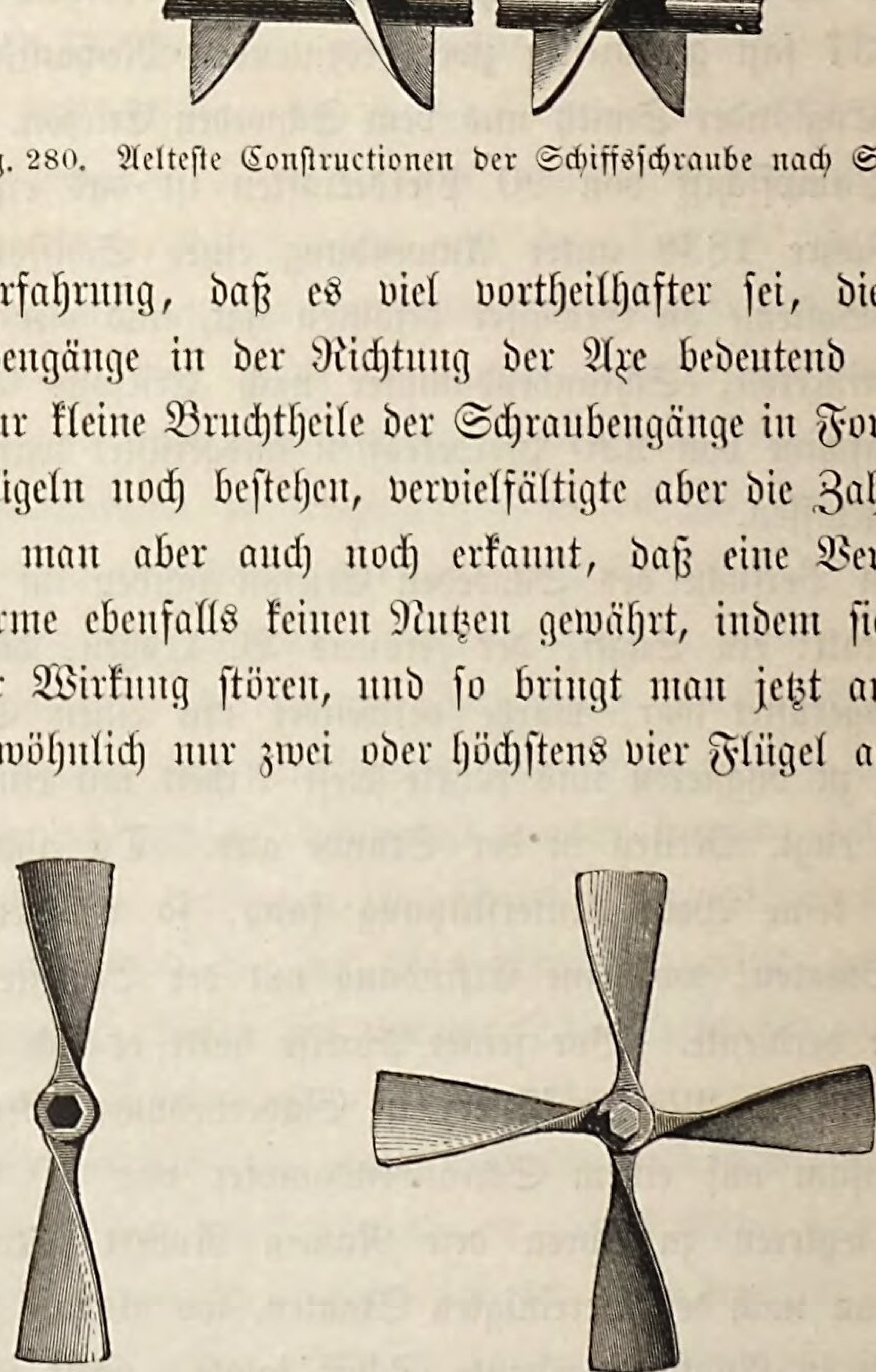


Fig. 281. Schiffsschraube mit zwei und mit vier Flügeln.

für den Effect aber ist die Länge und Breite der Flügel sowie die Geschwindigkeit, mit der sie gedreht werden, maßgebend.

Wie die Schiffsschraube am Hintertheile des Schiffes in ihrem Rahmen befestigt ist, haben wir bereits gesehen und wollen nur noch hinzufügen, daß man in dem Falle, wenn das Schiff ohne Anwendung der Dampfkraft mit dem Winde segeln soll, die Schraube von der Maschine auslöst

wendet, bis die Einführung der Schiffsschraube auch in dieser Beziehung eine Aenderung nöthig machte, weil für diesen Motor die durch sie zu erzielende Geschwindigkeit nicht ausreichte; hätte man aber die Umdrehungsgeschwindigkeit durch Einfügung eines Räderwerkes steigern wollen, so würde dadurch die Reibung sehr gesteigert worden sein und mithin der Verlust an Kraft ein sehr bedeutender werden. Die Condensation ist allgemein beibehalten worden, nicht allein da, wo sie nothwendig ist, nämlich bei den Niederdruckmaschinen, sondern auch bei den Schiffsmaschinen, die mit mittlerem oder hohem Drucke arbeiten, weil die Bequemlichkeit, mit der man sich kaltes Wasser im Uebermaße verschaffen kann, die Kosten beim Gebrauche des Condensators verhältnißmäßig niedrig stellt.

Zum Betriebe der Schifffahrt hat man die größten und mächtigsten Dampfmaschinen gebaut, die es überhaupt giebt: die Fälle sind nicht selten, daß der Effect sich auf Hunderte von Pferdekräften beziffert, ja bei den großen Seeschiffen der Kriegsmarine steigt diese Zahl bis in die Tausende. Bei der Berechnung der Kraft der Schiffsmaschinen hat man die zu Grunde gelegte Einheit noch erhöht, sodaß man in diesem Falle unter einer nominellen Pferdekraft eine Kraft versteht, welche an der Triebwelle einen Effect von mehr als 100, am Kolben aber von 135 Meterkilogrammen hervorbringt: man hat eine solche Aenderung der Einheit für zweckmäßig gehalten, weil bei diesen Maschinen eine Verminderung des Effects eintritt, welche bei anderen Dampfmaschinen nicht vorhanden ist, nämlich um die Kraft, welche für den Zurückstoß des Wassers verbraucht wird. In der Kriegsmarine geht man sogar noch weiter und rechnet dort die nominelle Pferdekraft zu 300 Meterkilogrammen: wenn also z. B. die französische Dampffregatte Friedland eine Maschine besitzt, deren Effect auf den Kolben 4000 Pferdekräfte zu 75 Meterkilogrammen beträgt, so rechnet man den nominellen Effect derselben zu 1000 Pferdekräften.

Um eine so bedeutende Kraft zu erzielen muß man Dampfkessel anwenden, in denen sehr große Wassermengen in Dampf verwandelt werden können: daher muß der Kessel selbst ein sehr bedeutendes Volumen haben und auch die Heizfläche muß eine sehr große Ausdehnung besitzen. In der Regel wendet man deshalb Röhrenkessel mit wiederkehrender Flamme an, von denen die Abbildungen Fig. 282 und 283 zwei Modelle

miteinander einen rechten Winkel bilden, wird immer die Wirkung auf die eine am größten sein, sobald die andere in ihren todten Punkt gelangt ist, und durch diese Anordnung helfen sie sich immer gegenseitig über den todten Punkt hinweg. Die Maschine arbeitet mit Expansion und mit ihr steht ein Condensator in Verbindung.

Bei den Raddampfern werden die Cylinder gewöhnlich aufrecht gestellt: als man aber zuerst ähnlich eingerichtete Maschinen bei den Schraubendampfern zur Anwendung brachte, so legte man zunächst die Cylinder horizontal in einer Richtung, welche mit der Längsrichtung des Schiffes einen rechten Winkel bildete; um aber der Axe eine genügende Rotationsgeschwindigkeit zu ertheilen, sah man sich genöthigt ein Räderwerk einzuschalten. Doch bald darauf fand man es für vortheilhafter, horizontale Maschinen ohne Balancier mit zwei Cylindern einzuführen, bei denen

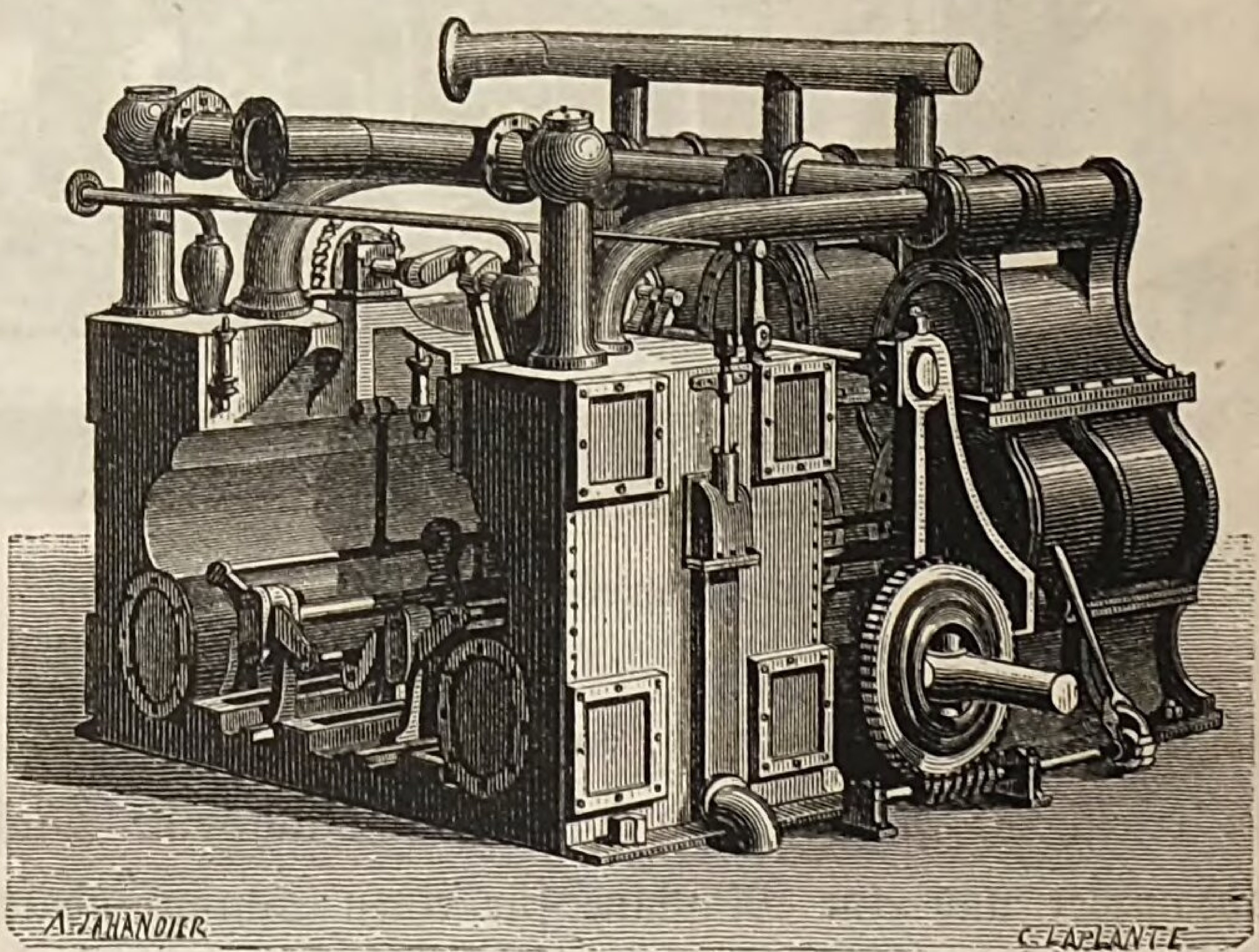


Fig. 285. Schiffsmaschine mit drei Cylindern, von denen zwei mit Expansion arbeiten.

die Bewegung unmittelbar durch die Blenelstangen auf Kurbeln übertragen werden, die an der Axe der Schiffsschraube selbst fest sitzen.

Die Cylinder der Schiffsmaschinen sind häufig von ungeheurer Größe: so hat, um nur ein Beispiel zu erwähnen, jeder Cylinder des bereits genannten Schiffes Friedland einen inneren Durchmesser von 2,10 m, die Hubhöhe des Kolbens aber beträgt 1,30 m. Der Dampf drückt also bei jedem Kolben auf eine Oberfläche von ungefähr 3,50 qm, sodaß, wenn

man die Dampfspannung nur zu $2^1|_2$ Atmosphären annimmt, dieser Druck ungefähr 90000 Kgr. beträgt. Wenn die Kolben solche ungeheure Dimensionen annehmen, so begnügt man sich gewöhnlich nicht mit einer einzigen Kolbenstange, sondern wendet deren 2 bis 4 an, welche an einer Querstange, die sich an der Bleuelstange befindet, eingelenkt sind.

Die eben erwähnte Schiffsmaschine ist nicht allein durch ihre Größe und durch die Kraft, die sie entwickelt, ausgezeichnet: auch die Geschwindigkeit, mit welcher sie das Schiff weiter treibt, auf dem sie aufgestellt ist, übersteigt das gewöhnliche Maß und beträgt bei ruhigem Wetter in der Stunde nicht weniger als $14^1|_2$ Knoten, oder 28 Kilometer. Auf der Weltausstellung zu Paris vom Jahre 1867 war die Maschine ausgestellt und wurde zu Zeiten in Gang gesetzt: stellten sich dann die Besucher in einiger Entfernung hinter der Schraube, deren Durchmesser $6{,}10^m$ beträgt, auf, so fühlten sie deutlich den Zug der Luft, welche durch die Umdrehung der colossalen Windflügel nach Hinten getrieben wurde. Auch noch dadurch erregt diese Maschine Interesse, daß sie im Grunde zwar auf dem Woolfschen Principe beruht, welches aber in diesem Falle dem Zwecke entsprechend modificiert worden ist. Wir finden nämlich bei ihr drei Cylinder von gleicher Größe, deren Kolben sich auch immer gleichmäßig bewegen: der Dampf tritt zunächst nur in den mittleren Cylinder und arbeitet in demselben immer mit vollem Drucke; von hier aus aber vertheilt sich der Dampf, der im ersten Cylinder verbraucht war, auf die beiden seitwärts befindlichen Cylinder, in denen er mithin mit Expansion arbeiten muß, um schließlich von jedem derselben aus in einen besonderen Condensator geleitet zu werden. Auch ehe der Dampf in den mittleren Cylinder eintritt, wird er vom Dampfkessel aus zunächst durch einen Raum, in welchem er getrocknet wird, dann aber durch Höhlungen, die sich in den Wänden der beiden äußeren Cylinder befinden, hindurch geleitet: durch dieses System ist es gelungen bei gleicher Kraftentwickelung und bei gleichem Gewichte der Maschinen eine bedeutende Ersparung an Brennmaterial gegenüber dem ursprünglichen Woolfschen Systeme zu erzielen.

Weiter hat man noch die Anordnung getroffen, daß die beiden Kurbeln der Triebwelle, welche mit den beiden äußeren Cylindern in Verbindung stehen, miteinander einen rechten Winkel einschließen, daß aber die Kurbel für den mittleren Cylinder in die Verlängerung der

Halbierungslinie dieses Winkels fällt: dadurch hat man den Vortheil erlangt, daß bei jeder Stellung der Kurbeln die Triebwelle nahezu im Gleichgewichte bleibt und daß dieses Gleichgewicht auch nicht gestört wird, wenn das Schiff infolge des Wellenschlages sich neigt.

Wir haben uns hier auf einige Hauptformen der Schiffsmaschine beschränken müssen und wollen nur erwähnen, daß manche andere Formen, die wir früher besprachen, wie z. B. die Dampfmaschine ohne Kolbenstange, die Dampfmaschine mit oscillierendem Cylinder u. a. m., gerade auf Dampfbooten mehrfach Anwendung gefunden haben. Alle wesentlichen Unterschiede, welche die Schiffsmaschinen den stehenden Dampfmaschinen gegenüber zeigen, lassen sich darauf zurückführen, daß man bei ersteren möglichst Bedacht darauf nehmen muß, an Kosten und an Raum zu sparen.

Neuntes Kapitel.

Locomotive und Locomobile.

§ 1. Die ältesten Locomotiven.

Die ersten Versuche, Fahrzeuge auf ebener Erde durch die Kraft des Dampfes in Bewegung zu versetzen, wurden in Paris im Jahre 1769 durch den französischen Ingenieur Cugnot gemacht, welcher einen Wagen bauen ließ, der durch eine kleine Dampfmaschine auf der Straße weiter getrieben werden sollte: allein der Erfolg, den er erzielte, war ein so geringer, daß er die weiteren Versuche aufgab und daß Niemand Lust verspürte, auf dem von ihm eingeschlagenen Wege fortzugehen. Erst zu Anfange dieses Jahrhunderts wurde das Problem wieder aufgenommen und Oliver Evans baute zuerst in Philadelphia im Jahre 1804 einen ähnlich eingerichteten Wagen, der sich etwas besser bewährte, und fast gleichzeitig wurde durch die englischen Ingenieure Trewitick und Vivian ein Fahrzeug construiert, durch welches die Kohlen von den Bergwerken bei Merthyr Tydvil in Wales weiter befördert wurden. Allein ein wirklicher Erfolg war erst dann zu erwarten, als man auf den Gedanken kam, die durch Dampf getriebenen Wagen in gleicher Weise auf Schienen zu stellen, wie man das bereits früher mit den Karren gemacht hatte, auf welchen die Kohlen durch die Kraft der Menschen oder Pferde in

welche die dabei angewendeten Kessel lieferten, ungenügend war, um größere Lasten mit der nöthigen Geschwindigkeit weiter zu befördern. Der Grund hierfür lag in der Einrichtung der Kessel selbst, bei denen sich die Feuerung in einer Röhre befand, welche sich der ganzen Länge nach durch die Kessel hindurch zog: dadurch war die Heizfläche viel zu beschränkt, als daß sich die nöthige Dampfmenge hätte entwickeln können, und auch der Luftzug konnte sich nicht kräftig genug entwickeln. Bei alledem bilden die Locomotiven, welche von da an durch Stephenson und durch Hackworth erbaut wurden, einen Wendepunkt in der Entwickelung dieser wichtigen Verkehrsmittel, welche aber bis zum Jahre 1829 im Ganzen nur langsame Fortschritte machte.

Im genannten Jahre wurde durch Marc Seguin eine Verbesserung angebracht, welche mit einem Male die Wirksamkeit der Locomotiven außerordentlich steigerte: es wurde nämlich an Stelle des einfacheren Kessels ein solcher in die Maschine eingeführt, bei dem die Flamme des Herdes durch eine große Zahl von Heizröhren hindurch schlägt, und weiter gelang es um dieselbe Zeit, die Lebhaftigkeit des Luftzuges durch die Mitwirkung des ausströmenden verbrauchten Wasserdampfes zu erhöhen. Durch die erste Umwandelung wurde die Heizfläche sehr vergrößert, sodaß die Verwandelung des Wassers in Dampf viel schneller erfolgte und dadurch die Kraft der Maschinen sich steigerte, ohne daß die Dimensionen des Kessels vergrößert zu werden brauchten. Da nun diese Steigerung der Dampfentwickelung zugleich auch ein lebhafteres Brennen des Feuers erforderte, und da bei der geringen Höhe, die man den Schornsteinen nur geben konnte, der Luftzug sich nicht mit großer Lebhaftigkeit entwickelte, so kam Hackworth, Pelletier und G. Stephenson auf den glücklichen Gedanken, den Dampf, welcher im Cylinder gearbeitet hat, durch ein aufsteigendes Rohr in den Schornstein zu leiten: bei jedem Kolbenstoße ruft dieser Dampf eine lebhafte aufsteigende Bewegung in der Luft des Schornsteines hervor, durch welche der Rauch und die Verbrennungsgase mit großer Gewalt aus den Heizröhren herausgezogen und in die Luft ausgestoßen werden. Die erste Locomotive, an der diese beiden wesentlichen Verbesserungen angebracht waren, führte den Namen Rocket und war aus der Werkstätte des Robert Stephenson zu Newcastle hervorgegangen; bei einem Preisausschreiben wurde ihr am 6. Oct. 1829 in Liverpool der erste Preis zugesprochen.

§ 2. Die Locomotive.

Die Beschreibung der Locomotive, welche von jenen Zeiten an noch weiter vervollkommnet worden ist, wollen wir an die Betrachtung der Fig. 286, 287 und 288 anknüpfen, von denen die erste den Längsschnitt, die beiden anderen aber Querschnitte durch die Feuerung und durch die Rauchkammer darstellen.

Der Dampfkessel der Locomotive, welcher von den Heizröhren, deren Zahl oft sehr bedeutend ist, durchzogen wird, besteht aus zwei Hauptabtheilungen: die weiter nach Hinten zu liegende, welche von rechtwinkligen

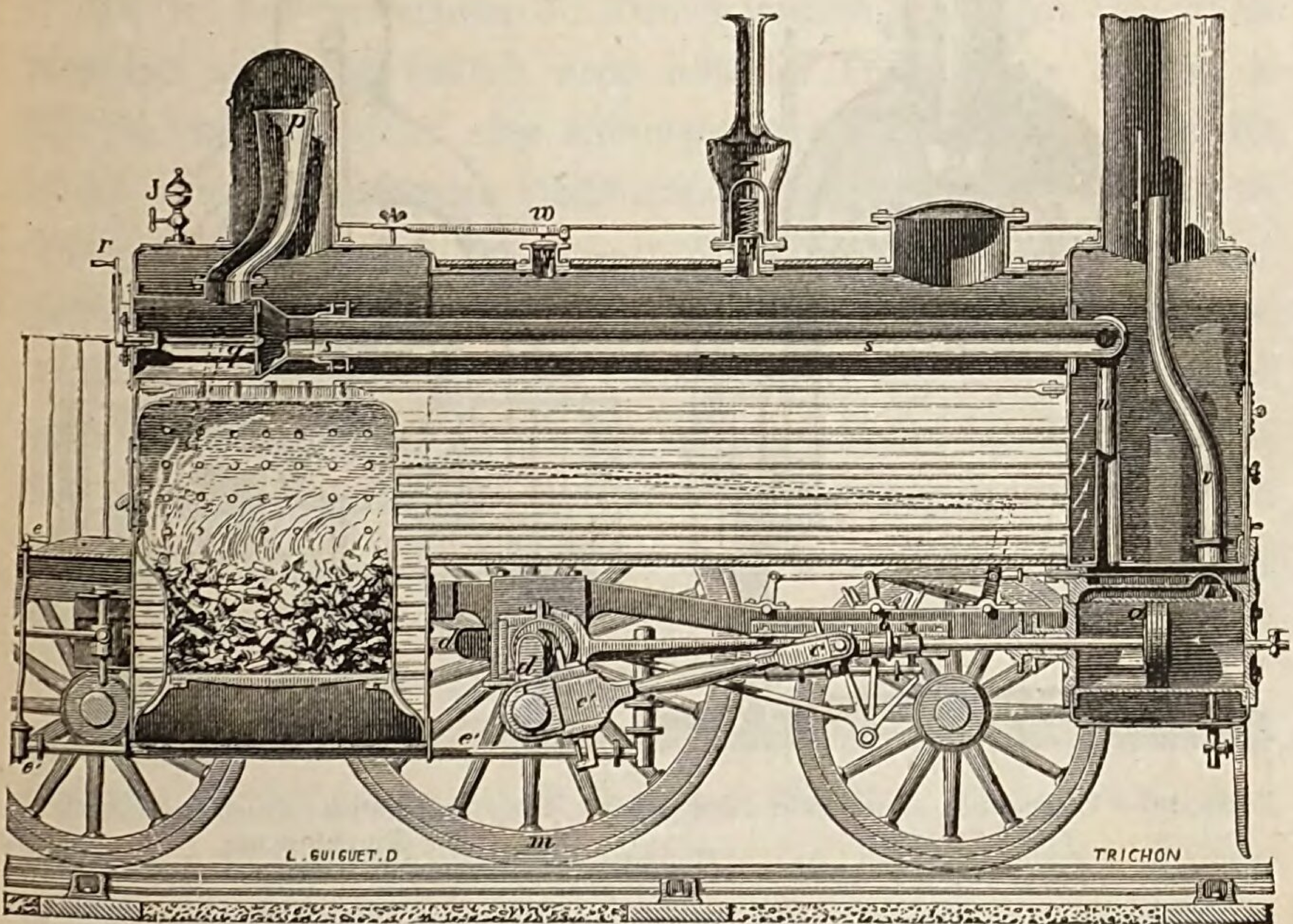


Fig. 286. Locomotive: Längsschnitt.

Wänden umgrenzt wird, umschließt den Feuerherd, der von allen Seiten mit Ausnahme der unteren, wo sich der Aschenraum befindet, vom Wasser umspült wird: die andere Abtheilung des Dampfkessels, welche die Gestalt eines langen Cylinders besitzt, bildet den größten Theil des Körpers der Locomotive; durch ihre untere Hälfte gehen die Heizröhren hindurch, welche stets vollständig vom Wasser umschlossen sein müssen und durch welche der Rauch und die Verbrennungsgase in den Schornstein entweichen.

In der oberen Hälfte des cylindrischen Theiles sammelt sich der Wasserdampf an, steigt in einen kuppelförmigen Aufsatz, den Kesseldom oder die Dampfhaube, und dringt von diesem aus durch das doppelt geknickte Rohr pssu (Fig. 286), das sich an seinem vorderen Ende in zwei Aeste spaltet (Fig. 288) in die Dampfkammern der beiden Cylinder der Maschine. Durch den Handgriff r kann der Maschinist die Klappen des Schieberverschlusses q beliebig öffnen und schließen, sodaß er es in seiner Gewalt hat, den Dampf in größerer oder geringerer Menge nach

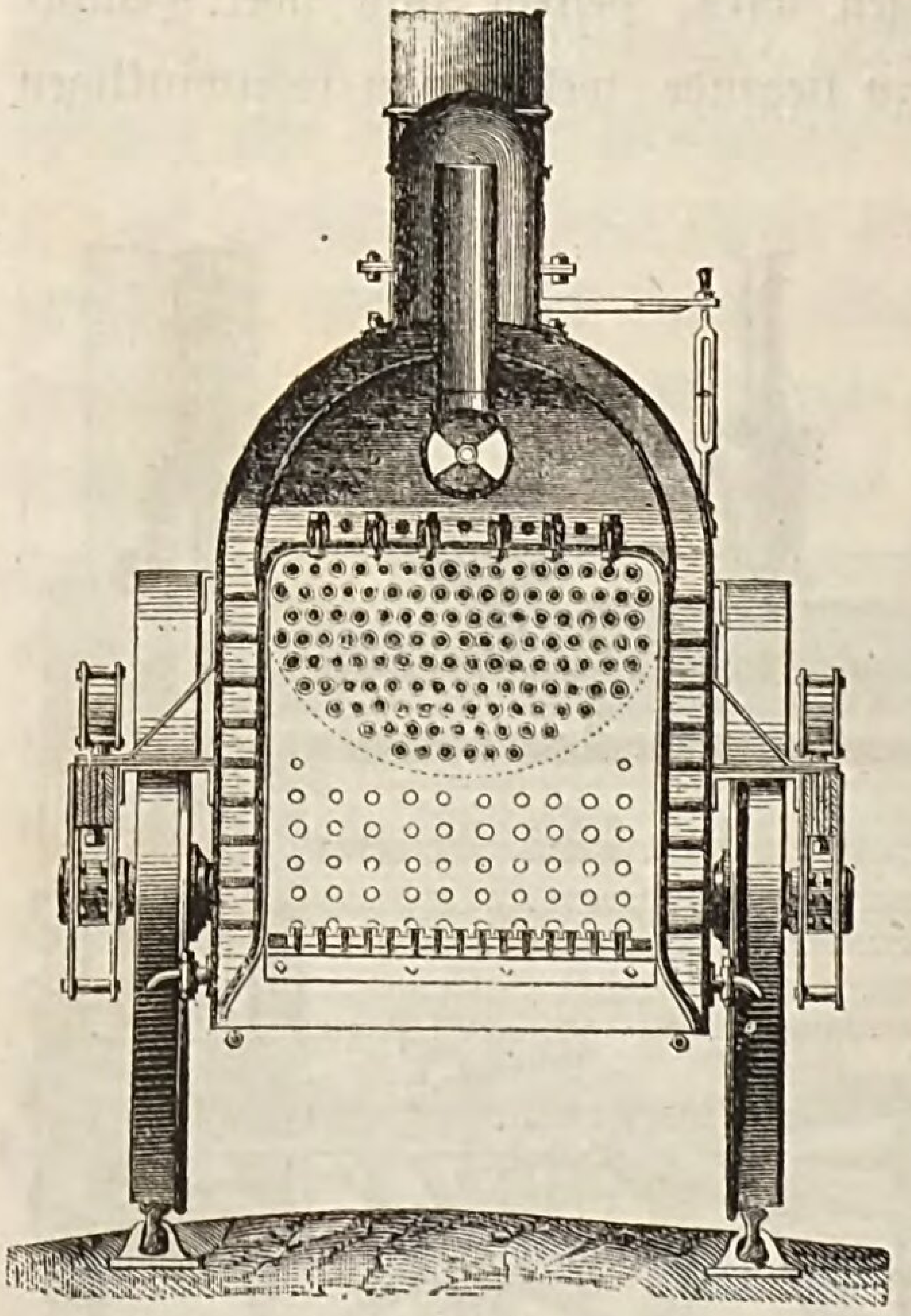


Fig. 287. Locomotive: Querschnitt durch den Heizraum.

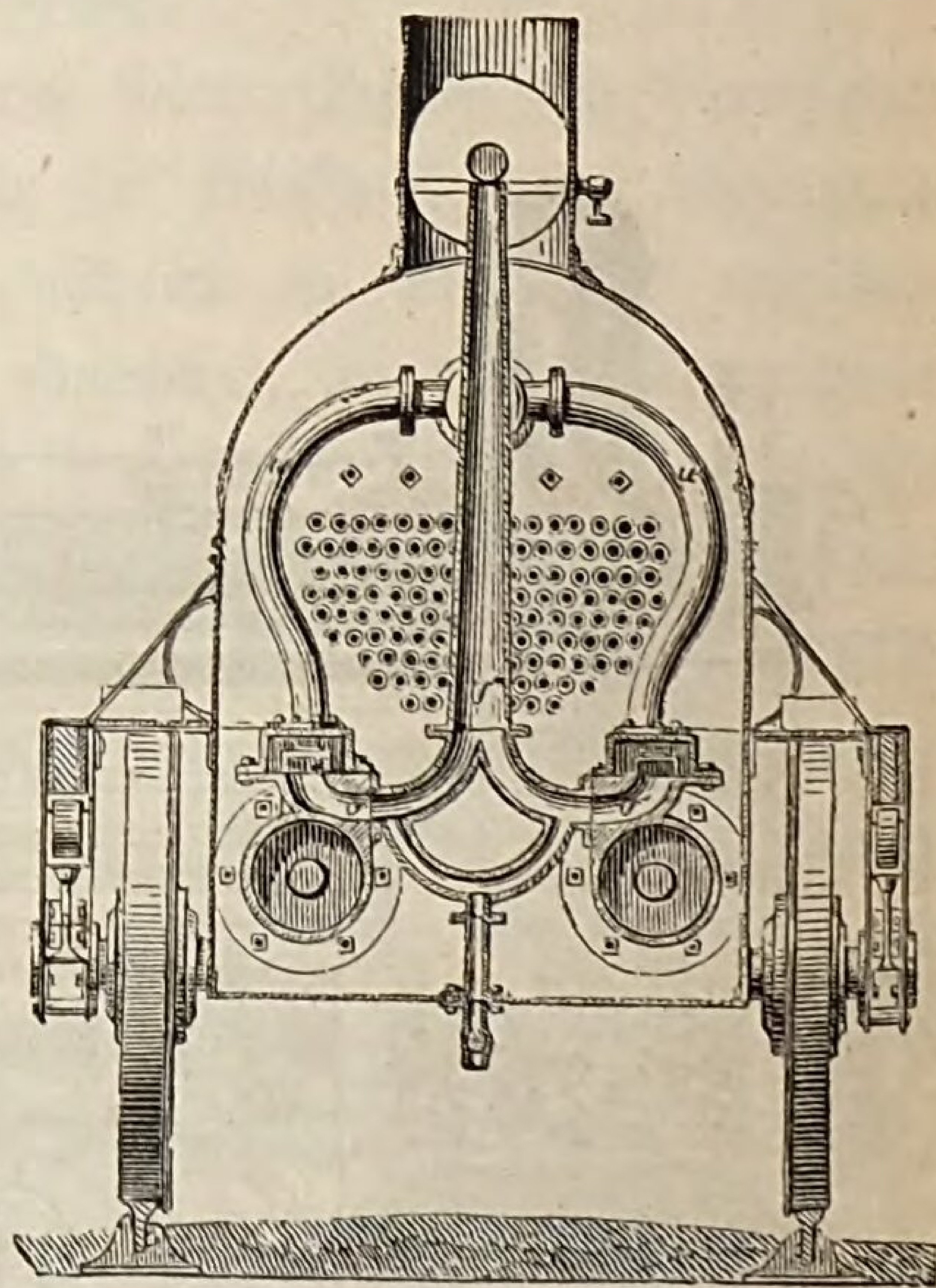


Fig. 288. Locomotive: Querschnitt durch die Rauchkammer.

den Dampfcylindern strömen zu lassen oder ihn auch gänzlich abzusperren: deshalb bezeichnet man dieses Ventil als einen Regulator. Auf der gewölbten Oberfläche des cylindrischen Körpers nimmt man noch leicht alle die Nebenapparate wahr, welche wir früher besprochen haben, wie die Sicherheitsventile, Manometer, Wasserstandsmesser und die Dampfpfeife.

Fragen wir uns, worin sich der Dampfkessel der Locomotive hauptsächlich von dem anderer Maschinen unterscheidet, so finden wir, daß der Unterschied hauptsächlich in der Größe der Heizfläche liegt: um zu zeigen, in welchem Verhältnisse dieselbe durch Anwendung der Heizröhren

wächst, wollen wir jetzt einige Zahlenbeispiele anführen. Bei einer Schnellzuglocomotive von Crampton haben die Wände des Herdes, auf welche die strahlende Wärme des Feuers trifft, nur eine Oberfläche von 8,65 qm, während die Oberfläche der Röhren, welche durch die Verbrennungsgase erhitzt werden, die durch sie strömen und ihre Wärme an sie abgeben, nicht weniger als 88,92 qm, also mehr als zehnmal so viel beträgt. Bei einer Packzugmaschine von Engerth betragen diese Größen 9,70 und 180,70 qm, sodaß letztere Oberfläche mehr als achtzehnmal so viel beträgt. Bei den Locomotiven, sagt Perdonnet, erzeugt der Quadratmeter Heizfläche ungefähr zwei bis dreimal so viel Dampf, als in den Kesseln der stehenden Dampfmaschinen.

Da bei den Locomotiven der Dampf nothwendig in den Schornstein entweichen muß, um daselbst einen lebhaften Luftstrom zu erregen, so läßt sich ein Condensator nicht anbringen, und schon aus diesem Grunde müssen also die Locomotiven Hochdruckmaschinen sein; gewöhnlich hat der Dampf eine Spannung von 8—9 Atmosphären, das Arbeiten aber geschieht stets mit Expansion. An der Axe des Triebrades sind zwei excentrische Scheiben befestigt, die einander gerade gegenüber stehen: durch einen zusammengesetzten Hebel, die Stephenson'sche Coulisse, läßt sich nun bewirken, daß entweder die eine oder die andere dieser Scheiben die Steuerung regiert. Legt man diesen Hebel um, so wird die Steuerung sich in entgegengesetzter Weise bewegen als zuvor, und folglich wird auch die Maschine in der entgegengesetzten Richtung fahren.

Streng genommen besteht die Locomotive aus zwei mit einander gekuppelten Dampfmaschinen: sie hat zwei Cylinder, deren jeder seinen besonderen Kolben und Schieber enthält, und jede der beiden Kolbenstangen wirkt mittels einer Bleuelstange auf eine besondere Kurbel an der Axe, welche die beiden Triebräder trägt. Auch hier sind die beiden zuletzt erwähnten Kurbeln so gestellt, daß sie einen rechten Winkel mit einander bilden, was zur Folge hat, daß sich beide abwechselnd gegenseitig über die todten Punkte hinweghelfen. Bei gewissen Arten von Locomotiven findet man sogar vier Cylinder, bei ihnen sind also streng genommen vier Maschinen mit einander vereinigt, welche zu je zweien eine Axe in Umdrehung versetzen. Weder in Bezug auf die Einrichtung der Cylinder, noch der Uebertragung der Bewegung, ist irgend etwas zu bemerken, was wir nicht bei den Maschinen anderer Art bereits erwähnt

groß der Durchmesser der Triebräder, und wie kurz andererseits der Dampfcylinder ist, zwei Bedingungen, ohne welche eine bedeutende Geschwindigkeit nicht erreicht werden kann. Seit etwa vierzig Jahren sind nun diese Locomotiven im Gebrauche und noch nie haben sie die an sie gestellten Forderungen unerfüllt gelassen: dazu kommt, daß diese Maschinen sich auch sehr fest im Gleichgewichte halten, indem ihr Schwerpunkt sehr tief liegt und zugleich die Axen der Räder ziemlich weit von einander entfernt sind, sodaß die Unterstützungsfläche eine ziemliche Ausdehnung besitzt; es ist dies besonders dann wichtig, wenn die Bahn vielleicht stark gekrümmte Curven macht, in denen bei der großen Geschwindigkeit des Zuges sich eine bedeutende Centrifugalkraft entwickelt, welche die Wagen hinauszudrängen strebt. Beiläufig wollen wir hier bemerken, daß die Schienen in den Curven nicht in gleiches Niveau gelegt werden: sondern die äußere Schiene wird immer etwas erhöht, damit die Centrifugalkraft nicht zur Wirkung gelangt; daher kann man beim Fahren aus der Neigung des Waggons wahrnehmen, wenn der Zug um eine Biegung fährt.

Das Gewicht einer Locomotive nach Crampton beträgt im Mittel 30 Tonnen (zu 1000 Kgr.), und die Last, welche sie mit einer Geschwindigkeit von ungefähr 80 Kilometer in der Stunde befördern kann und welche auf 12—16 Wagen vertheilt ist, 100—130 Tonnen: der Preis stellt sich, den Tender nicht mit gerechnet, auf 50—60,000 M. Andere ebenfalls sehr gute Systeme für Schnellzuglocomotiven sind weiter von Mac-Connel, Buddicom, Sturrock und Stephenson angegeben worden; der zuletzt genannte hat z. B. noch einen dritten Dampfcylinder in der Mitte hinzugefügt, durch welchen ähnlich, wie bei der früher besprochenen Schiffsmaschine, die hin- und herschwankende Bewegung, die durch die einseitigen Kolbenstöße hervorgerufen wird, abgemindert werden soll.

Als Beispiel für die Packzuglocomotiven wählen wir diejenigen, welche vom österreichischen Ingenieur Engerth zunächst für Bahnen mit starker Steigung, z. B. für den Betrieb auf der Semmeringsbahn, construiert wurden (Fig. 290). Schon der äußere Anblick, der Vergleich mit der Maschine von Crampton läßt uns erkennen, daß wir es hier mit einer weit kräftigeren Maschine zu thun haben, die zugleich aber viel schwerfälliger ist, sodaß man von ihr keine zu große Geschwindigkeit erwarten darf: läßt sich die Schnellzuglocomotive mit einem Rennpferd

vergleichen, so erinnert die Packzuglocomotive eher an ein Lastpferd, das sich zwar nicht in sehr schnelle Bewegung versetzen läßt, dafür aber um so andauernder harte Arbeit verrichtet. Die mittlere Geschwindigkeit, mit der sich die Maschinen von Engerth bewegen, beträgt zwar nur etwa 24 Kilometer in der Stunde, dabei befördern sie aber Lastzüge bis zu 450 Tonnen; das eigene Gewicht beträgt ungefähr 63 Tonnen. Die Maschine wird von vier Paaren von Rädern getragen, deren Durchmesser gleich und nicht übermäßig groß sind: jedes dieser Räder trägt eine Kurbel und die vier Kurbeln auf jeder Seite sind unter sich durch eine gemeinsame Stange verbunden, welche die Kuppelstange genannt wird und an welcher die Bleuelstange angreift, sodaß alle gleichzeitig in Umdrehung versetzt werden. Im Gegensatze zu den früher erwähnten

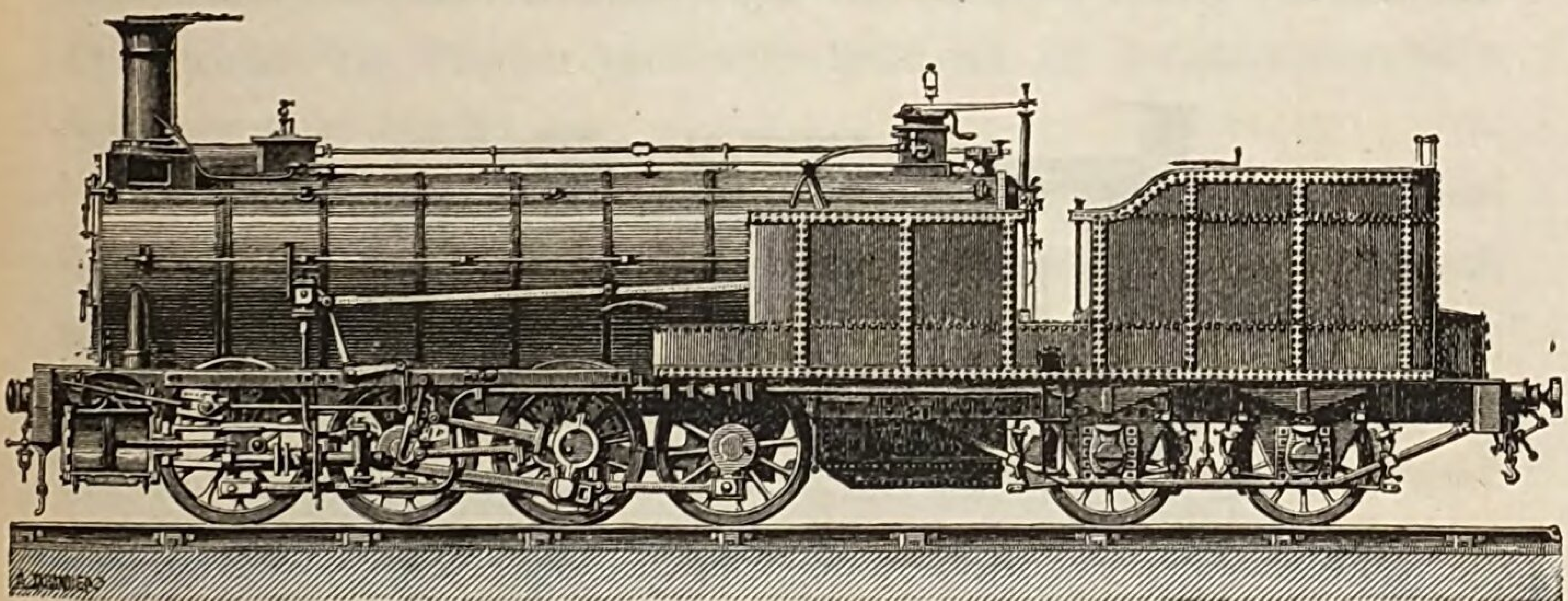


Fig. 290. Packzuglocomotive von Engerth.

haben also diese Locomotiven mehrere Paare von Triebrädern von geringerem Durchmesser, der Weg, den der Kolben im Cylinder zurückzulegen hat, ist dagegen wesentlich größer: in gleicher Weise hat auch der Dampfkessel, besonders der cylindrische Theil desselben mit den Heizröhren, wie auch der Feuerungsraum eine viel größere Ausdehnung, und gerade in der bedeutenden Größe der Heizfläche, welche eine mächtige Entwickelung des Dampfes veranlaßt, liegt die Ursache für die ungeheure Zugkraft, welche diese Maschinen auszuüben im Stande sind. Die ersten Locomotiven, die Engerth für den Dienst auf der Semmeringsbahn baute, waren mit Zahnrädern versehen, welche in Zahnstangen eingriffen und so die bedeutende Steigung überwanden: ein System, das jetzt bei manchen Gebirgsbahnen angewendet wird.

Die Mehrzahl der Locomotiven, die für den gewöhnlichen Dienst bei Personen- und gemischten Zügen bestimmt sind, steht zwischen diesen beiden Classen in der Mitte: sie haben in der Regel zwei Paare von Triebrädern, deren Durchmesser zwischen 150 und 170 ^{cm} beträgt und die mit einander gekoppelt sind, der Dampfcylinder und damit auch der Weg, den der Kolben zu durchlaufen hat, ist von mittlerer Länge, ihr eigenes Gewicht aber übersteigt kaum das der Schnellzuglocomotiven; sie befördern Züge von 180—200 Tonnen Gewicht mit einer mittleren Geschwindigkeit von 45 Kilometer. Je geringer die Schwierigkeiten sind, die auf der Fahrt überwunden werden müssen, je weniger also die Bahn in ihrem Verlaufe von der horizontalen geraden Linie abweicht, und je geringer der Verkehr ist, desto leichter und einfacher können auch die Locomotiven gebaut sein; je schwieriger aber die Arbeiten werden, welche

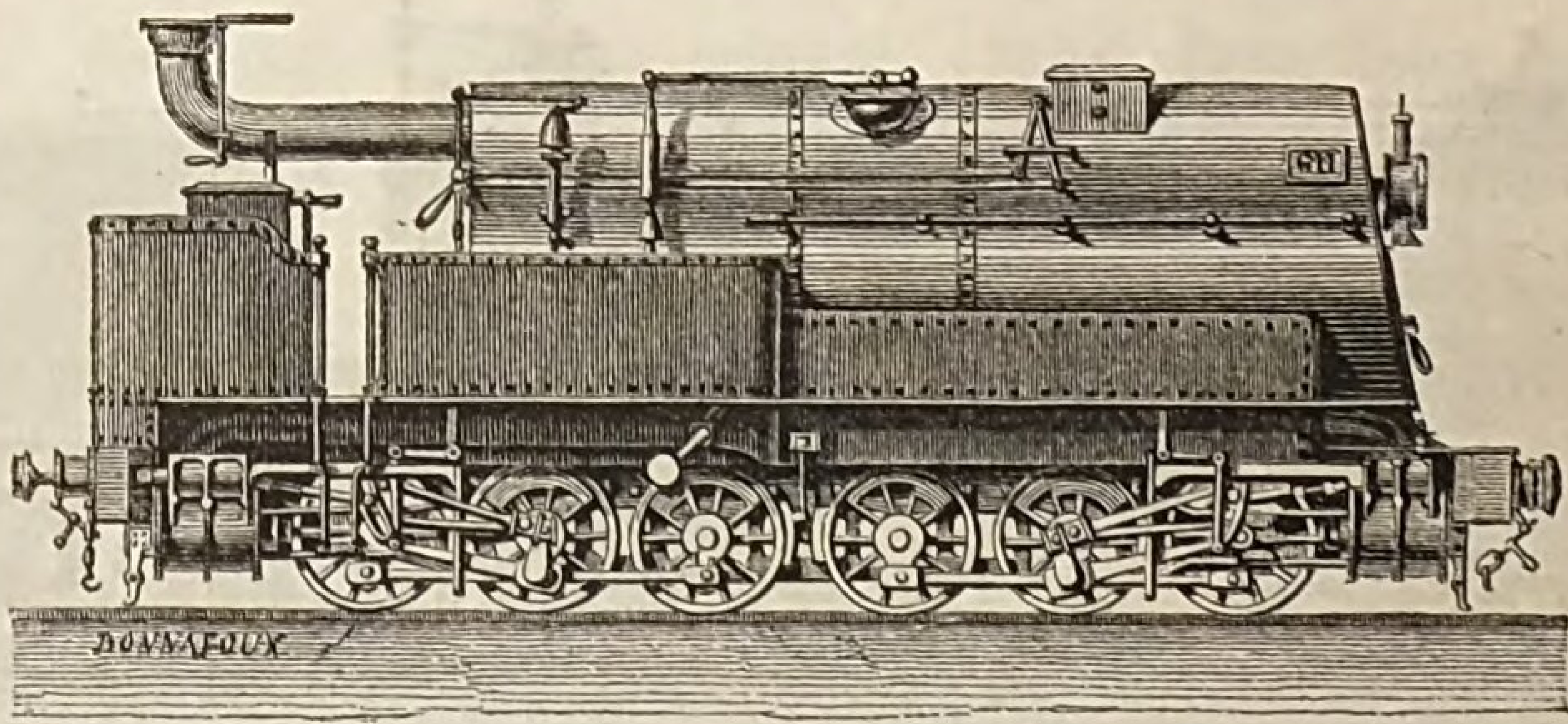


Fig. 291. Packzuglocomotive mit zwölf Triebrädern und vier Cylindern.

die Maschinen auszuführen haben, um so kräftiger müssen sie selbst gebaut sein: so stellt z. B. Fig. 291 eine Packzuglocomotive dar, wie sie auf der französischen Nordbahn im Gebrauche ist, bei welcher um den Effect zu steigern nicht weniger als sechs Paare von Triebrädern angebracht sind, die zu je drei gekoppelt sind und durch vier Dampfcylinder in Umdrehung versetzt werden. Dagegen findet man häufig für den Bahnhofsdienst leichtere Locomotiven, bei denen der Tender *mit* der Betriebsmaschine verschmolzen ist: dieselben dienen zum Rangieren der Züge, können aber auch bei etwaigen Vorkommnissen als Hilfslocomotiven verwendet werden.

§ 5. Straßenlocomotiven und Locomobilen.

Die ersten Wagen, welche überhaupt durch Dampf getrieben wurden, waren, wie wir gesehen haben, dazu bestimmt sich auf den gewöhnlichen Fahrstraßen weiter zu bewegen: bevor also die eigentlichen Dampfwagen, die auf besonders für sie hergerichteten Wegen, nämlich auf Eisenschienen, laufen, erfunden wurden, kannte man bereits die Verkehrsmittel, die man jetzt als Straßenlocomotiven bezeichnet. Allein jene ersten Versuche scheiterten an mancherlei Schwierigkeiten, die man damals nicht zu überwinden wußte, und wurden deshalb bald wieder aufgegeben: einestheils hatten weder die Dampfmaschine selbst, noch der Bewegungsmechanismus den erforderlichen Grad der Vollkommenheit, und auch die Beschaffenheit der Straßen war andererseits für die Fortbewegung dieser Fahrzeuge nicht günstig.

Wir haben im Vorstehenden besprochen, wie die Kraft der Eisenbahnlocomotiven gewissermaßen durch ihr eigenes Gewicht auf den Punkt hin concentriert wird, wo sie zur Wirkung kommen soll, nämlich auf die Berührungsstelle, wo sich die Räder vermöge der Reibung gegen die Schienen stemmen, und daß dieser Zweck durch Erhöhung des eigenen Gewichtes der Locomotiven in vollkommnerem Maße erreicht wird: wollte man nun hieraus den Schluß machen, daß auch das Gewicht der Straßenlocomotiven zu erhöhen sei, so würde dies nicht richtig sein. Denn wenn die Last des Wagens zunächst nur auf den Rädern, besonders auf den Triebrädern ruht, so wird sie doch auch durch dieselben schließlich auf die Straße übertragen: und mag nun letztere auch noch so gut angelegt und wohl gepflegt sein, so werden sich doch die Räder, wenn die Last zu groß ist, in sie eindrücken und werden Wagenspuren in ihr zurücklassen, die endlich so tief werden, daß sie die Maschine zum Stillstehen bringen.

So hatte das Problem der Straßenlocomotive Jahrzehnte lang geruht, bis die Fortschritte, welche die Mechanik gemacht, und die Erfahrungen, die man beim Betriebe der Eisenbahnen gesammelt hatte, zur Lösung jener Aufgabe aufmunterten. Im Jahre 1862 erschien auf den Straßen Londons die erste Straßenlocomotive, die nach dem Systeme des Ingenieur Bray gebaut war und genügende Kraft besaß um Züge

verbrauchte Dampf in den Schornstein entweicht und zur Entwickelung des Luftzuges beiträgt; letzterer darf aber in diesem Falle niemals so stark werden, daß durch ihn brennende Funken mit fortgerissen werden, weil die Locomobile nicht selten in der Nähe von Orten aufgestellt werden muß, an denen leicht brennbare Stoffe aufgehäuft sind.

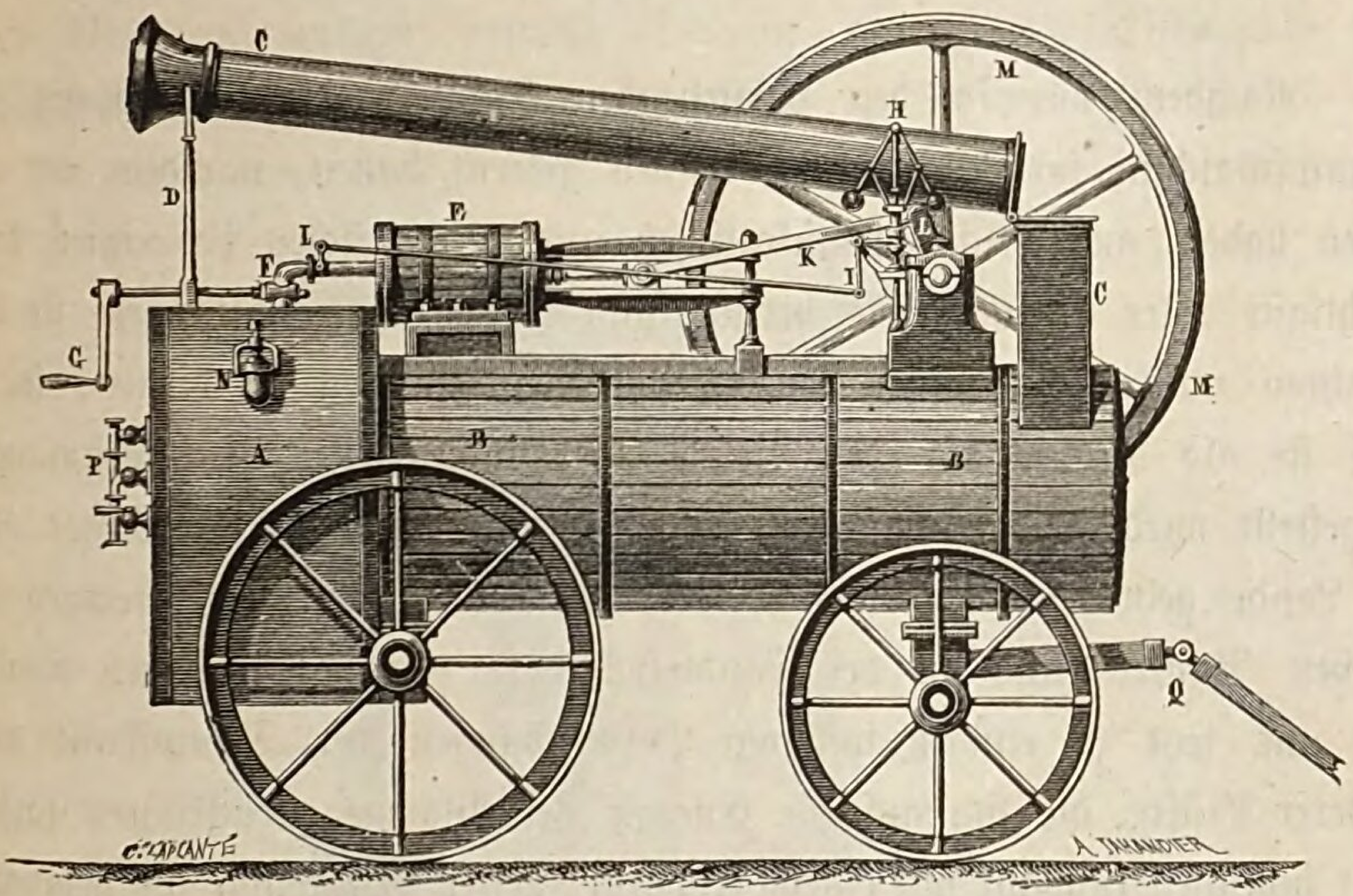


Fig. 294. Locomobile von Calla.

A Feuerungsraum. — B Cylindrischer Rumpf des Dampfkessels. — C Schornstein. — E Dampfcylinder. — HI Regulator. — KL Bleuelstange und Kurbel. — M Schwungrad.

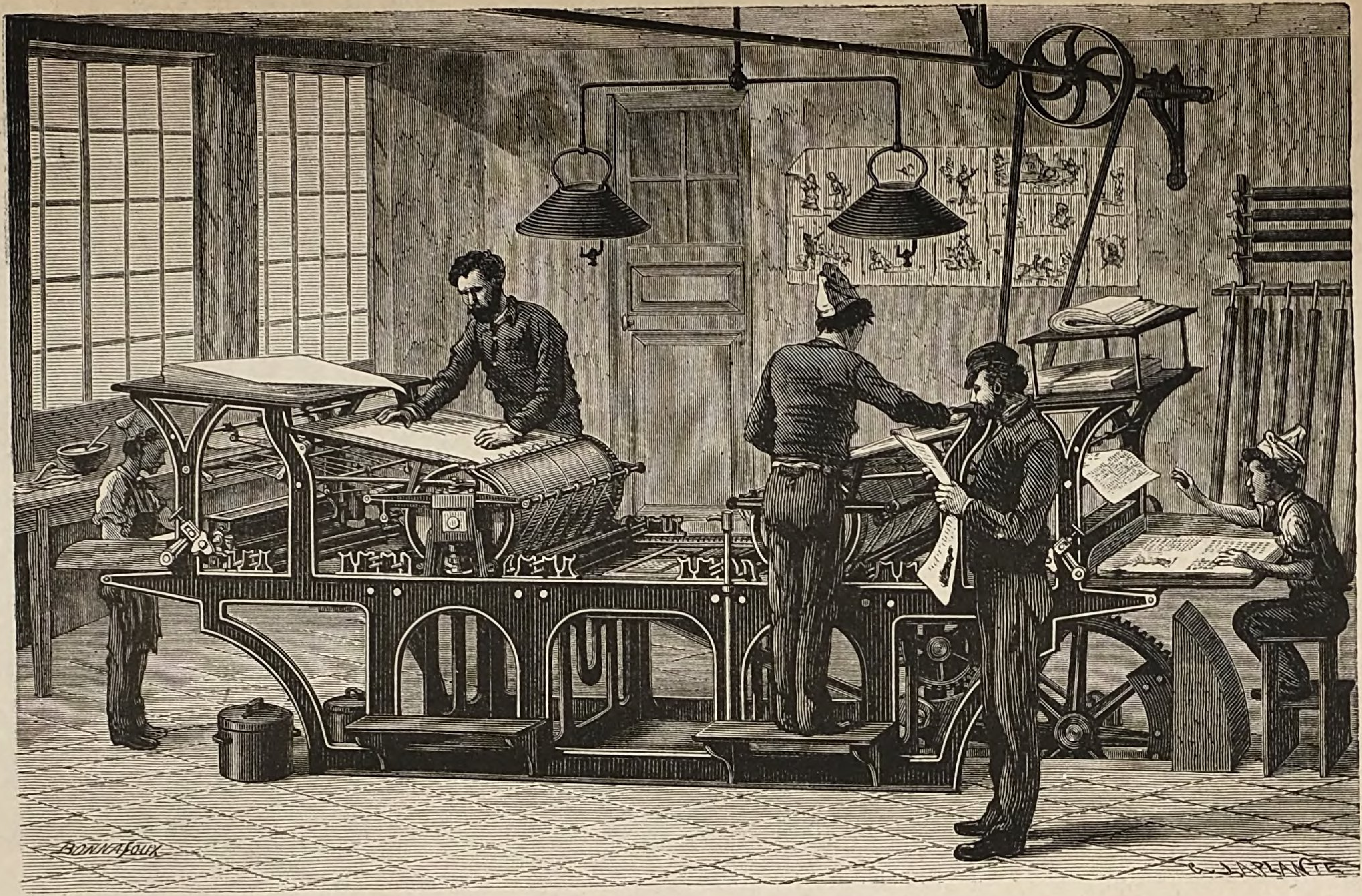
Bei der Locomobile, welche unsere Abbildung darstellt, liegt der Cylinder in horizontaler Richtung oberhalb des Dampfkessels: die Kolbenstange, welche durch Schienen in gerader Linie erhalten wird, setzt die Bleuelstange K in Bewegung und diese wirkt wieder auf die Kurbel der Axe, an welcher das Schwungrad befestigt ist. Auch alle übrigen Theile, welche unsere Zeichnung darstellt, werden sich leicht wieder erkennen lassen. Die Locomobilen sind keineswegs sehr sparsame Maschinen, denn sie verbrauchen stündlich für jede Pferdekraft 5—6 Kgr. Steinkohlen. Ihr Gewicht ist, wie schon erwähnt, nicht bedeutend und eine Maschine von 4—5 Pferdekraft wiegt kaum über 2 Tonnen.

umgelegt, so drückt er nunmehr von Oben her gegen den Kolben und erhöht durch seine Spannung die Gewalt des Aufschlages. Durch diese Anordnung, durch welche zugleich auch die Zahl der Schläge in einer bestimmten Zeit vervielfältigt wird, ist es möglich Stücke von sehr bedeutenden Dimensionen zu schmieden, und zwar läßt sich die Arbeit mit einmaligem Erhitzen des Stückes zu Ende führen, sodaß man auf diese Weise an Zeit, an Brennmaterial und endlich auch an Metall spart. Fällt der Hammer nur unter der Einwirkung der Schwerkraft herab, so ist die Arbeit, die er leistet, gleich dem Producte aus seinem Gewicht und der Höhe, aus der er herabfällt, zu setzen: je größer also die Fallhöhe ist, desto kräftiger wirkt auch der Hammer bei jedem Schlage, mit desto größeren Unterbrechungen aber folgen auch die Stöße auf einander: läßt man aber den Dampf von beiden Seiten wirken, so kann man leicht die Kraft jedes Schlages verdreifachen und zugleich die Geschwindigkeit, mit der die Schläge erfolgen, verdoppeln. Ist bei einem größeren Dampfhammer die Einrichtung so getroffen, daß der Dampf von beiden Seiten wirken kann, so ist doch auch immer eine Vorrichtung angebracht, durch welche die Wirkung von Oben abgestellt wird, sodaß auch diese Hämmer einfach wirken, wenn jene Vorrichtung zur Anwendung kommt. Ebenso läßt sich durch geschickte Handhabung des Hebels L bewirken, daß der Hammer ganz langsam nur herabsinkt, ja man kann ihn an jeder Stelle seines Laufes anhalten, wenn man den Hebel plötzlich hebt, sodaß der Dampf unter den Kolben tritt. Bei kleineren Dampfhämmern bringt man wohl auch eine Vorrichtung an, durch welche die Verlegung des Schiebers automatisch erfolgt: ist der Block bis zu der bestimmten Höhe gehoben, so drückt ein an ihm angebrachter Zahn einen Flügel, der schräg an einer Axe sitzt, zur Seite und bewirkt dadurch, daß der Schieber gehoben wird; andererseits ist aber am Block ein federnder kleiner Hammer befestigt, welcher, sobald der Block aufschlägt, vermöge der erlangten Geschwindigkeit noch ein Stück weiter schwingt und dabei mittels eines ähnlichen Flügels die Axe in ihre vorige Stellung zurückbringt, sodaß der Dampf wieder unter den Kolben tritt. Den nöthigen Dampf verschafft man sich gewöhnlich dadurch, daß man das Feuer weiter benutzt, durch welches das zu schmiedende Eisen selbst erhitzt wird. Das Gewicht der größten Dampfhämmer mit den Ständern, mit Ambosstock, Amboß, Dampfcylinder und was sonst noch dazu gehört, beträgt

Spindeldrehbank von Calla erwähnen, deren Drehscheibe nicht weniger als 5 Meter im Durchmesser hält, ganz zu geschweigen von allen den Hobel- und Ausbohrdrehbänken, durch welche Stab- und Gußeisen, Stahl, Messing und Bronze glatt gehobelt, gebohrt, kurz in jeder denkbaren Art bearbeitet werden".

Wollte man alle die Verwendungen, welche die Dampfmaschine in dem industriellen Leben unserer Tage findet, wenn auch noch so kurz, aufzählen, so würde der Raum eines Kapitels nicht ausreichen, sondern es würden dazu Bände nöthig sein: man findet sie in Hochöfen und Ziegelscheunen, wo horizontale Maschinen als Gebläse aufgestellt sind um das Feuer mit der nöthigen Luft zu versorgen; in Diamantschleifereien, wo der Dampf die Schleifscheibe in 2500 Umdrehungen in der Minute versetzt; in Brauereien, wo sie die Pumpen in Gang setzt, durch welche die flüssigen Massen aus einem Gefäße in das andere gefüllt werden; in Papierfabriken, wo sie die Holländer, die Wasch-, Bleich- und Trockenmaschinen treibt; in Kunsttischlereien und Pianofortefabriken, wo sie das Holz in Platten zersägt und künstliche Arabesken einschneidet; in der Münze, wo die Stampfen von Uhlhorn, verbessert durch Thonnelier, bis zu 2400 Stücke in der Stunde schlagen; endlich in den Tabak- und Chocoladenfabriken, kurz bei allen gewerblichen Operationen, die eines mächtigen, regelmäßig, schnell und ununterbrochen wirkenden Motors bedürfen. Eine ganz besondere Wichtigkeit hat aber die Anwendung der Dampfkraft in zwei großen Industriezweigen erlangt: nämlich in der Anfertigung der Gespinnste und Gewebe aller Art, aller der Stoffe, die zu unserer Kleidung dienen, und dann in der Buchdruckerkunst, in der Anfertigung des Druckes von Schrift und Bild. Ueber letztere Anwendung jetzt noch ein paar Worte.

Den ersten Gedanken, die hölzerne, durch Menschenhand regierte Druckerpresse durch eine eiserne Presse mit Dampfbetrieb zu ersetzen, faßte der Drucker Friedrich König aus Eisleben, welcher im Anfange dieses Jahrhunderts bei Breitkopf & Härtel in Leipzig gelernt, dann aber, um zur weiteren Verfolgung seiner Ideen befähigt zu sein, auf der dortigen Universität Mathematik und Mechanik studiert hatte. Da er für seine Projekte weder in Deutschland noch in Rußland Unterstützung fand, so wendete er sich im Jahre 1809 nach England, wo er sich mit einem ebenfalls deutschen Mechaniker Bauer verband, mit dem er im



Mechanische Dampfpresse.

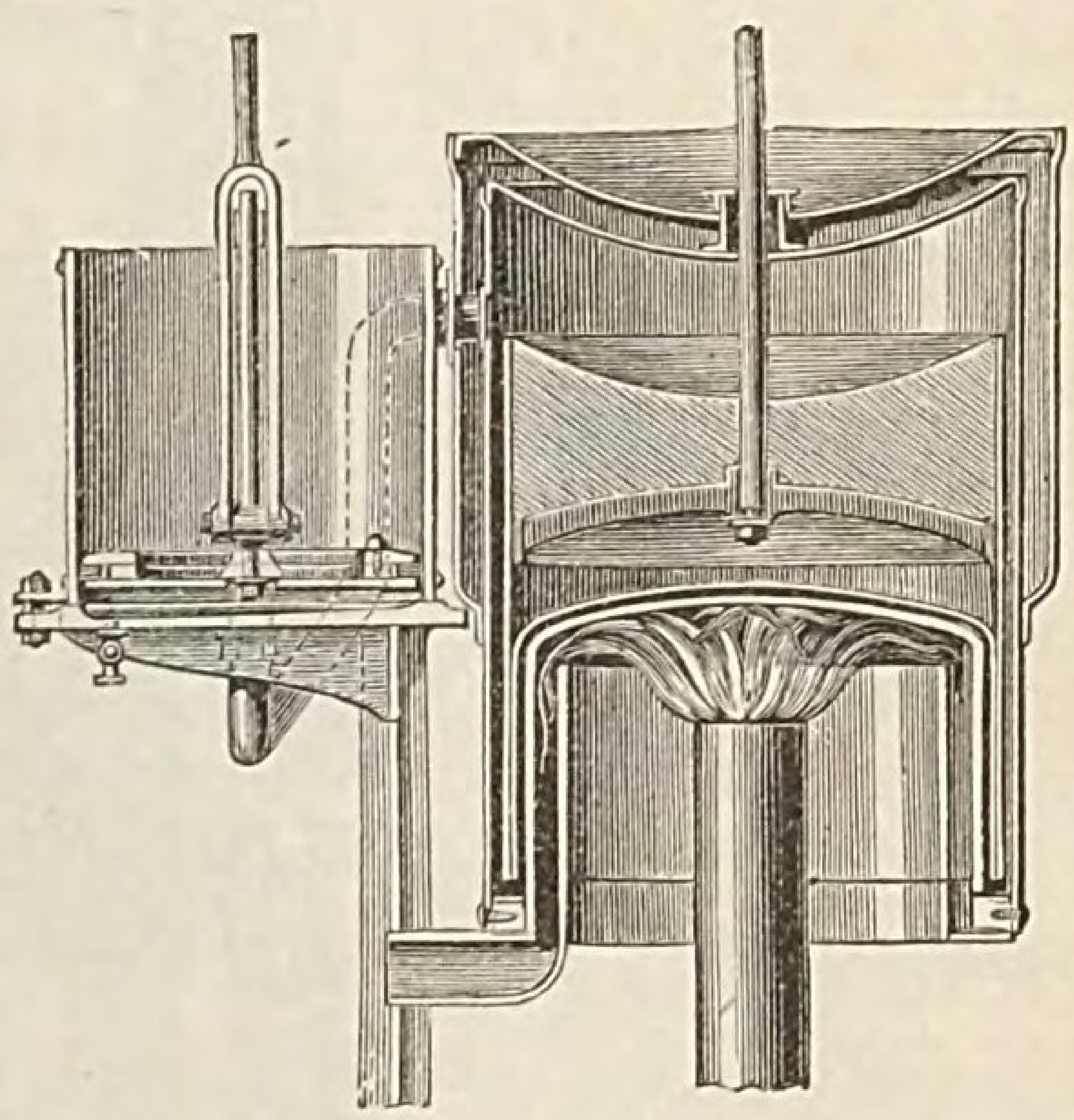
Vorsichtsmaßregeln nicht verhindern konnte, daß nicht ein Theil seiner Dämpfe durch die Fugen in der Röhrenleitung hindurchschlüpfte, und dadurch war mit dem Gebrauche dieser Maschinen bei der großen Entzündlichkeit des Aethers eine nicht geringe Gefahr verknüpft, die besonders bei der Anwendung in der Schifffahrt nicht unterschätzt werden durfte. Nichtsdestoweniger hat man längere Zeit mit solchen Maschinen auf den Booten Du Trembley und Galilei Versuche angestellt, wie auch in einer Krystallfabrik zu Lyon früher eine stehende Dampfmaschine dieses Systemes in Thätigkeit war. Ein Marineoffizier, Lafont, machte den Vorschlag, den Aether durch Chloroform zu ersetzen: allein wenn dadurch auch die Feuersgefahr vermieden wurde, so trat dafür die andere ein, daß die Dämpfe dieser Flüssigkeit, welche eben so leicht durch die Fugen dringen, betäubend wirken; weiter zeigte sich bei den Versuchen, die man mit ihr auf dem Boote Galilei anstellte, daß die Metalle sehr schnell von ihr angegriffen wurden und daß infolge dessen der Kolben in dem Cylinder, in welchem die Chloroformdämpfe wirken, bald nicht mehr schließt. Endlich hat man auch noch Versuche mit Schwefelkohlenstoff und mit Chlorkohlenstoff angestellt.

Noch wollen wir einer merkwürdigen Maschine gedenken, die sich auf der Pariser Ausstellung vom Jahre 1867 befand und dort auch von Zeit zu Zeit in Thätigkeit gesetzt wurde: wir meinen die Ammoniakgasmaschine von Frot, bei welcher der Kessel mit Wasser gespeist wird, in dem Ammoniak aufgelöst ist. Bei einer Temperatur von 15° C vermag nämlich das Wasser eine solche Menge Ammoniakgas in sich aufzunehmen, daß dieselbe für sich allein das 70fache des Volumens des Wassers einnehmen würde: sobald man aber das Wasser auf 100° erwärmt, so entweicht aus ihm das Gas vollständig bis auf die letzte Spur. Bei den Versuchen, welche Frot über die Ammoniakdämpfe, die sich aus der Lösung beim Erwärmen entwickeln, anstellte, ergab sich, daß deren Spannung bei 100° bereits $7\frac{1}{2}$ Atmosphären betrug, daß dieselbe aber bei 120° auf 10 Atmosphären stieg: man hatte also schon bei ziemlich niedriger Temperatur über einen gar nicht unbedeutenden Druck zu verfügen, und es handelte sich also nur noch darum, daß das Ammoniak nach seinem Durchgange durch den Cylinder condensiert und wieder in Wasser aufgelöst, und daß diese neu gewonnene Lösung zum Ersatze für die verbrauchte dem Kessel wieder zugeführt werde.

dasselbe wieder aufgriff und eine Heißluftmaschine baute, welche auf einem amerikanischen Schiffe als Motor aufgestellt wurde.

Bei der ersten Maschine, welche Ericson erbaute, wurde der Cylinder, in welchem sich der Kolben bewegt, direct durch das Feuer erhitzt: die Bewegung aber wurde auf den Kolben eines zweiten Cylinders, des Speisecylinders, übertragen; der letztere wirkt als Compressionspumpe: er saugt Luft auf und befördert sie in einen Behälter, aus dem sie durch eine Röhre in den Bewegungscylinder strömt. Ist der Kolben im Cylinder gehoben, so wird das Erwärmen unterbrochen und die zurückströmende Luft durch Drahtnetze geleitet, an welche sie ihre Wärme abgiebt; durch eben diese Netze wird darauf aber auch die neuzuströmende Luft geleitet, sodaß schon im Voraus durch die darin aufgespeicherte Wärme ihre Temperatur etwas erhöht wird. Bei den später von Ericson erbauten Maschinen sind die Drahtnetze in Wegfall gekommen und die heiße Luft strömt, nachdem sie auf den Bewegungskolben gewirkt hat, direct in's Freie. Die Maschine arbeitet, wie man sieht, mit einfacher Wirkung: um sie in Gang zu setzen, muß man im Anfange der Bewegung das Schwungrad mit der Hand anstoßen.

A



B

Fig. 298. Heißluftmaschine von Laubereau: Durchschnitt.

Aehnlich wie die von Ericson erfundene Maschine, ist auch die Heißluftmaschine von Laubereau eingerichtet, auf deren Beschreibung wir uns beschränken wollen, indem wir dabei die Abbildung Fig. 298 zu Grunde legen, welche den Querschnitt der Cylinder darstellt, während Fig. 299 die Gesammtansicht bietet. Der Bewegungsmechanismus dieser Maschine besteht aus zwei Cylindern A und B von verschiedenem Durchmesser, deren innere Höhlungen durch ein Rohr mit einander in Verbindung gesetzt sind. In dem kleineren Cylinder A, welcher oben offen ist, bewegt sich ein Kolben, der rings herum an den Wänden des Cylinders so fest anschließt, daß neben ihm die Luft nicht in's Freie entweichen kann. Der große Cylinder B ist dagegen an beiden Enden durch Deckel

wird die unter ihm befindliche Luft durch die Berührung mit dem unteren heißen Deckel erhitzt und dehnt sich infolge dessen aus: sie dringt neben dem Kolben vorbei durch das Verbindungsrohr in den Cylinder A und hebt den im letzteren befindlichen Bewegungskolben. An diesem ist nun unmittelbar die Bleuelstange befestigt, welche durch eine Kurbel die Axe des Schwungrades in Umdrehung versetzt. Während nun dieser Kolben aufsteigt, wird durch eine zweite an derselben Axe angebrachte Kurbel der Gypskolben herabgedrückt, sodaß die Luft im Speisecylinder mit der Bodenplatte nicht mehr in Berührung kommt: dieselbe kühlt sich ab unter der Einwirkung eines Stromes kalten Wassers, welcher beständig den Cylinder innerhalb einer doppelten Wandung umkreist, und verliert dadurch ihre Spannung. Nunmehr gewinnt der äußere Luftdruck wieder die Oberhand und drückt den Kolben im Cylinder A herab, wodurch gleichzeitig der andere Kolben wieder gehoben wird, sodaß das Spiel der Maschine nunmehr von Neuem beginnen kann. Selbstverständlich wird auch die Pumpe, welche immer neues kaltes Wasser durch die doppelte Wandung des Speisecylinders treibt, ebenfalls von der Maschine in Gang gesetzt.

Für die kleinere Industrie, welche zum Betriebe ihrer Maschinen nicht sehr starker Kräfte bedarf, für welche es aber wünschenswerth ist, daß der Gang der Maschine leicht und ohne Verlust unterbrochen werden kann, lassen sich die Heißluftmaschinen, wie überhaupt alle kleineren Motoren, die in ihrer Construction von der eigentlichen Dampfmaschine abweichen, mit Vortheil anwenden. Soll die Heißluftmaschine in Gang gesetzt werden, so hat man nur nöthig den Gasarm zu öffnen, das Gas zu entzünden und dem Schwungrade einen kleinen Anstoß zu ertheilen; sobald man das Gasleitungsrohr schließt, so kommt auch die Maschine sofort zur Ruhe, ohne daß sich in den Apparaten ein bedeutenderes Wärmequantum aufgespeichert hätte, welches nun verloren sein würde: durch diesen Umstand stellen sich bei öfteren Unterbrechungen des Betriebes die Kosten geringer als bei Anwendung einer Dampfmaschine. Für den großen Betrieb dagegen ist die Heißluftmaschine durchaus unbrauchbar, weil die atmosphärische Luft, wenn sie dieselbe Spannung erhalten soll, auf eine weit höhere Temperatur gebracht werden muß als der gesättigte Wasserdampf: während letzterer z. B. schon bei 120° den Druck von 2 Atmosphären ausübt, tritt dies für die Luft erst bei

273° ein, und noch größer werden die Unterschiede für höhere Spannungen, sodaß schließlich die Metalle unter der Einwirkung dieser großen Hitze ihre Cohäsion verlieren würden.

§ 4. Die Gasmaschine.

Fast noch größere Vortheile als die Heißluftmaschine gewährt die Gasmaschine dem kleineren Gewerbe und wir finden dieselbe daher auch immer häufiger in den Städten, in welchen sich Gasanstalten be-

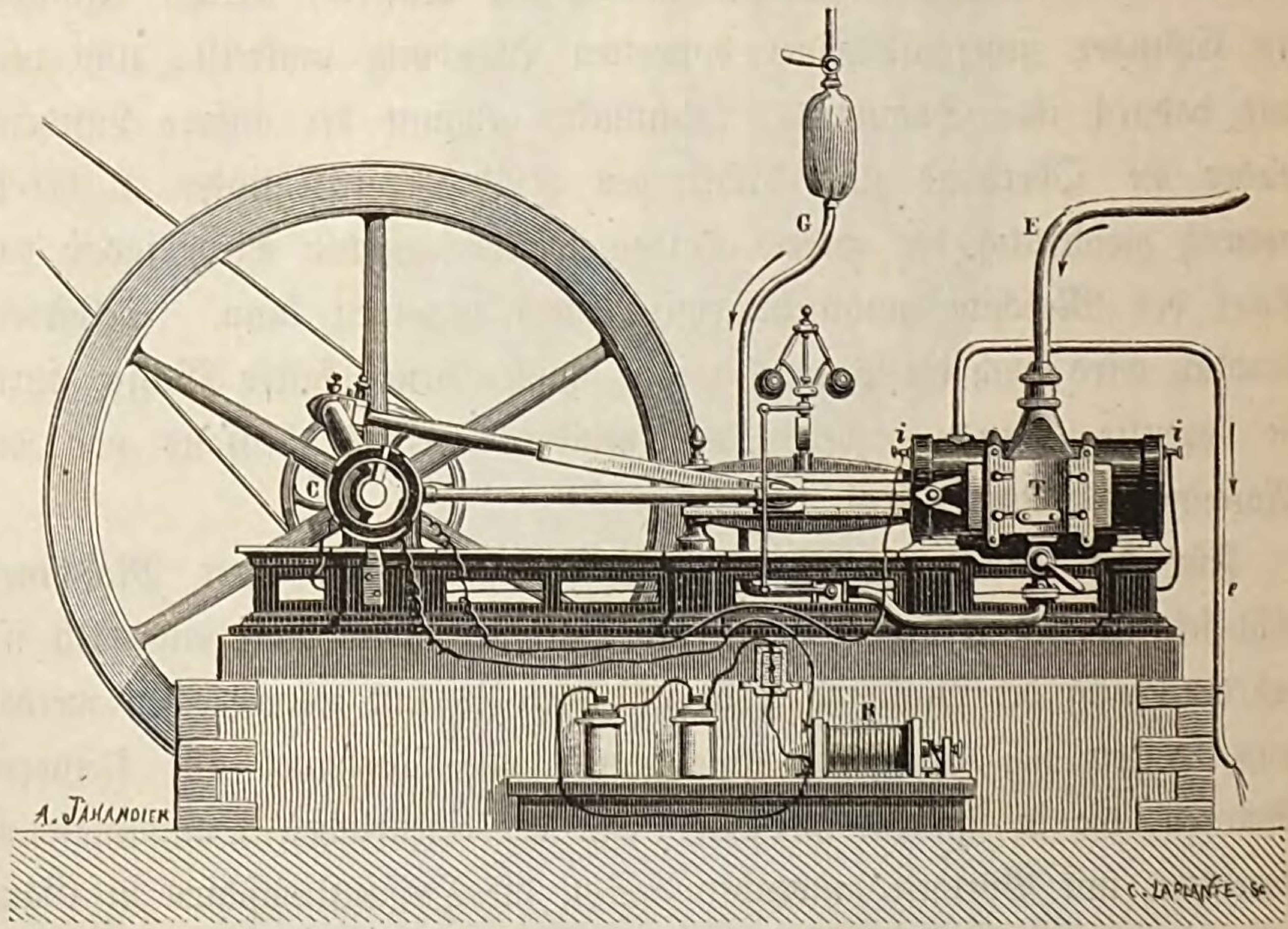


Fig. 300. Gasmaschine von Lenoir.

finden, zur Anwendung gebracht: wie bei jener wird auch hier als treibende Kraft die Spannung erhitzter Luft angewendet, nur mit dem Unterschiede, daß die Erwärmung nicht durch eine Wärmequelle bewirkt wird, die unterhalb des Behälters angebracht ist, in dem sich Luft befindet, sondern durch die Entzündung eines explosibeln Gasgemenges, das sich im Innern sammelt; als ein solches Gemenge wählt man aber stets eine Mischung von Leuchtgas und atmosphärischer Luft. In merkwürdigem Kreislaufe ist man also schließlich zu einer ähnlichen Idee zurückgekehrt, wie sie bereits vor zweihundert Jahren der große Mathematiker Huyghens gefaßt hatte: nur an Stelle des von ihm vorge-

schlagenen Schießpulvers sind luftförmige Körper getreten, die eine ähnliche Wirkung hervorbringen.

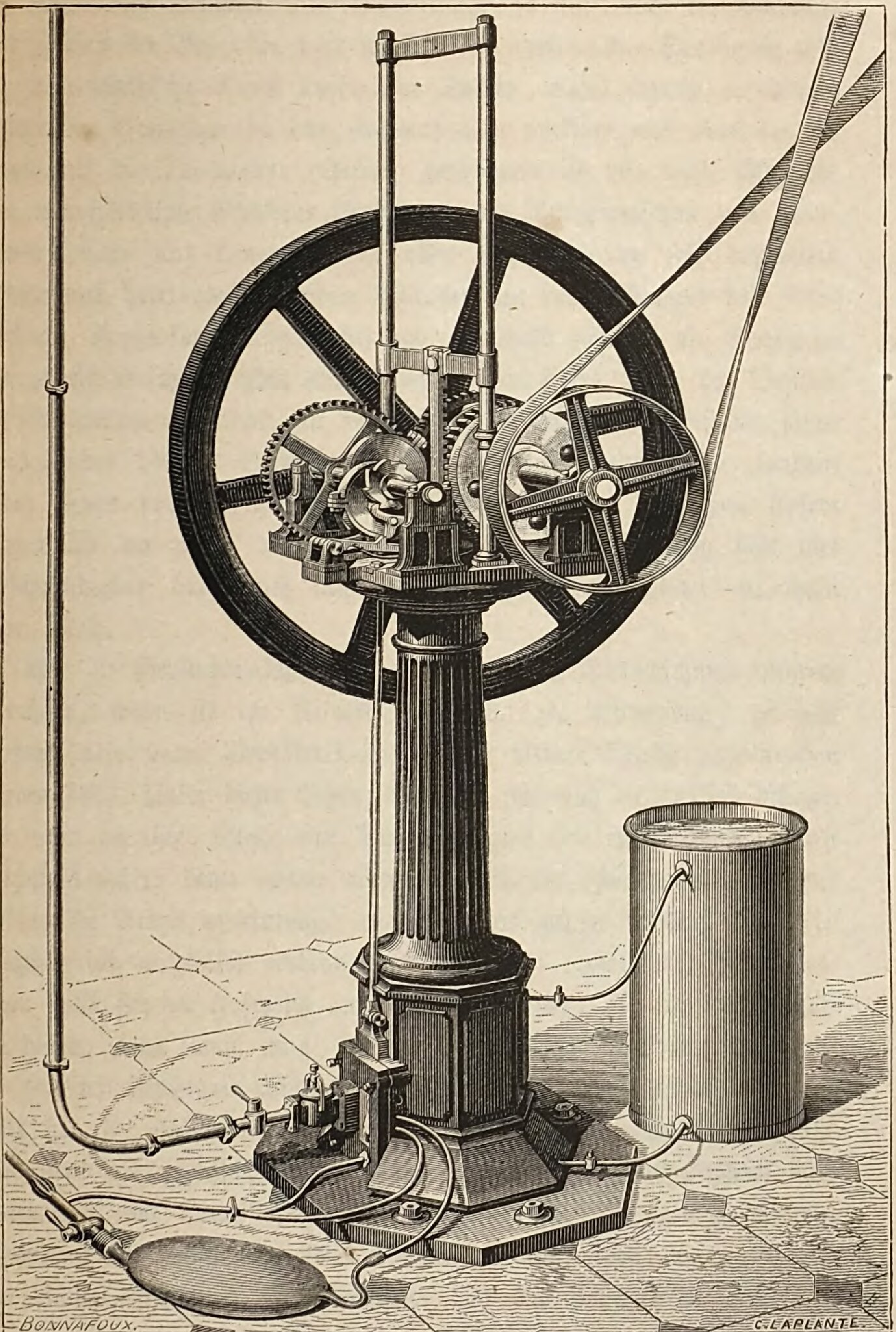
Die Gasmaschinen der verschiedenen Systeme weichen hauptsächlich in zweierlei Beziehungen von einander ab: einmal wirkt bei manchen die Gasexplosion immer nur auf der einen Seite des Kolbens, während die rückgängige Bewegung durch den Atmosphärendruck herbeigeführt wird, sodaß sich diese Apparate mit den atmosphärischen Maschinen in eine Reihe stellen lassen, bei anderen dagegen erfolgen die Explosionen abwechselnd auf beiden Seiten, der Effect ist mithin ein doppelter. Ein Hauptunterschied liegt aber weiter in der Art, wie die Entzündung des Gases bewirkt wird: ob durch eine bewegliche oder feststehende, außerhalb des Apparates entzündete Flamme, wie bei den Motoren von Hugon und denen von Otto und Langen, oder durch einen elektrischen Funken, wie bei dem Motor von Lenoir, zu dessen Betrachtung wir uns jetzt wenden wollen.

Bei der Gasmaschine von Lenoir (Fig. 300) erfolgen die Explosionen abwechselnd auf beiden Seiten eines Kolbens, der sich innerhalb eines horizontal liegenden Cylinders bewegt und durch eine Kolben- und Bleuelstange die Kurbel einer Axe in Umdrehung versetzt. Diese Axe trägt einerseits das Schwungrad, andererseits die Treibrolle: durch excentrische Scheiben aber setzt sie zwei Schieber T in Bewegung, die zu beiden Seiten des Cylinders liegen, und von denen der eine den Eintritt der Gase auf beiden Seiten des Kolbens reguliert, während der andere die Verbrennungsproducte in die Luft entweichen läßt. Die Stellung des ersten Schiebers ist so abgeglichen, daß in dem Augenblicke, wenn der Kolben an das eine Ende des Cylinders gelangt ist, von dieser Seite durch ein doppeltes Leitungsrohr G ein Gemenge von 10 Th. Leuchtgas und 90 Th. atmosphärischer Luft, die sich aber erst im Cylinder mischen dürfen, eintritt, gleichzeitig springt ein elektrischer Funke, der einem durch eine Bunsen'sche Säule in Bewegung gesetzten Ruhmkorff'schen Funkeninductor R entstammt, zwischen dem entsprechenden Poldraht und dem Kolben über und entzündet das Gasgemisch. Die beiden Poldrähte, welche abwechselnd den Funken abgeben, sind bei i i durch isolierende und hermetisch schließende Porzellanrohre in das Innere des Cylinders eingeführt. So wie nun das explosible Gemenge weiter einströmt, entzündet es sich fort und fort und erwärmt dabei die Luft,

die im Ueberschusse vorhanden ist und bei ihrer Ausdehnung den Kolben weitertreibt. Da sich aber die Wände des Cylinders bei diesen sich immer wiederholenden Explosionen bald erwärmen würden, so hat man sie, um dies zu vermeiden, mit einer Kapsel umgeben, durch welche beständig kaltes Wasser strömt: dasselbe tritt durch das Rohr E ein und entweicht durch das Rohr e. Der Regulator endlich ist so eingerichtet, daß er bei zu schnellem Gange der Maschine das Gasleitungsrohr G mittels einer Drosselklappe abschließt.

Der Motor von Hugon unterscheidet sich von dem besprochenen wesentlich nur dadurch, daß die Entzündung nicht durch elektrische Funken bewirkt wird, sondern durch eine Gasflamme, die abwechselnd an die Oeffnungen der beiden Kammern des Cylinders, die sich sofort wieder schließen, geführt wird.

Eine immer weitere Verbreitung und Anerkennung finden jetzt die Gasmotoren von Otto und Langen in Köln, bei denen die Entzündung des Gasgemisches ebenfalls durch eine beständig brennende Flamme bewirkt wird, nur ist diese Flamme in ihrer Stellung unveränderlich. Auf Tafel XIII geben wir eine Abbildung von einer kleineren aufrechtstehenden Maschine von Otto und Langen. Wir sehen auf einer Säule den Mechanismus der Uebertragung nebst Schwungrad errichtet; im Innern der Säule aber befindet sich der Cylinder, welcher an seinem oberen Ende offen ist, sodaß die Explosionen nur immer unterhalb des Kolbens erfolgen. Seitwärts am unteren Ende brennt in einer Höhlung eine Gasflamme, welche in unserer Abbildung sichtbar ist. Sobald der Kolben unten angelangt ist, strömt durch zwei Rohre etwas Leuchtgas und atmosphärische Luft in den Raum unter dem Kolben und gleichzeitig öffnet sich ein Schieber neben der Gasflamme ein wenig, sodaß durch dieselbe eine Entzündung im Innern erfolgt. Dieser Schieber schließt sich zwar sofort, aber da einmal die Entzündung erfolgt ist, so brennt das weiter einströmende Leuchtgas fort, da auch immer Luft hinzu geführt wird und erwärmt die Luft unter dem Kolben, welcher infolge der Ausdehnung derselben aufsteigt. Diese aufwärtsgehende Bewegung wirkt bei der von uns abgebildeten Maschine nicht zum Betriebe, sondern das Zahnrad, in welches die gezahnte Kolbenstange eingreift, dreht sich in dieser Richtung wie eine lose Rolle, etwa wie das Rad in einer Wanduhr, über welches die Gewichtsschnur geschlungen ist, sich ohne



Gasmaschine von Otto und Langen.

daß man den Werth der Declination für den Punkt der Erdoberfläche, an dem man sich befindet, kennt. Es sind daher zu diesem Zwecke die ausgedehntesten Untersuchungen über die Lage der magnetischen Meridiane auf der Erdoberfläche, sowie über deren Veränderungen angestellt worden: allein da diese Werthe, wie sich gezeigt hat, selbst sehr veränderlich sind, so ist es nothwendig, daß man auf dem Schiffe selbst die Größe der Declination bestimmt, so oft es die Klarheit des Himmels gestattet. Zu diesem Zwecke kann man sich des Variationscompasses (Fig. 305) bedienen, der in seinen wesentlichen Theilen mit der Declinationsboussole übereinstimmt: nur an Stelle des Fernrohres trägt derselbe eine Alhidade,

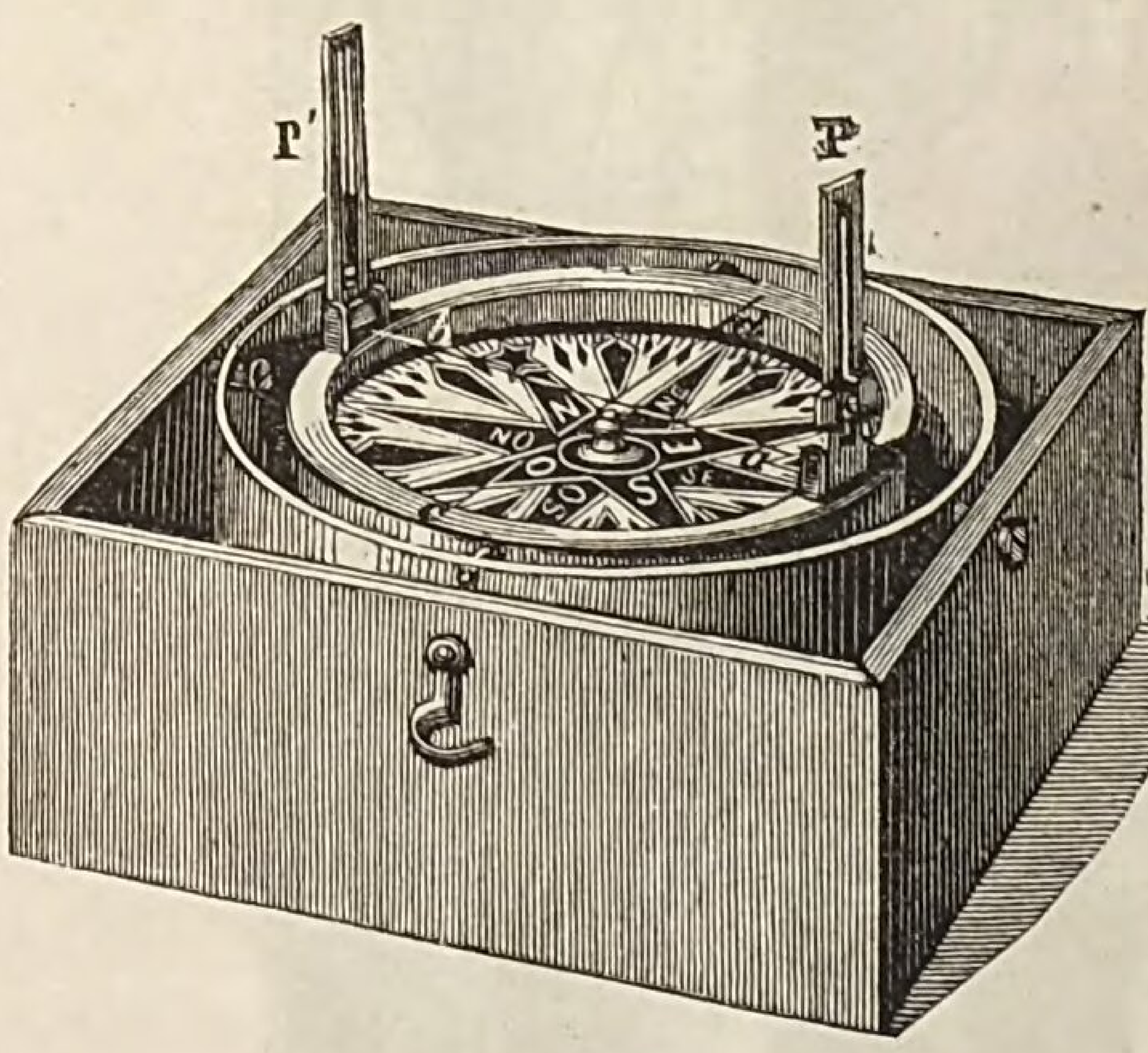


Fig. 305. Variationscompaß.

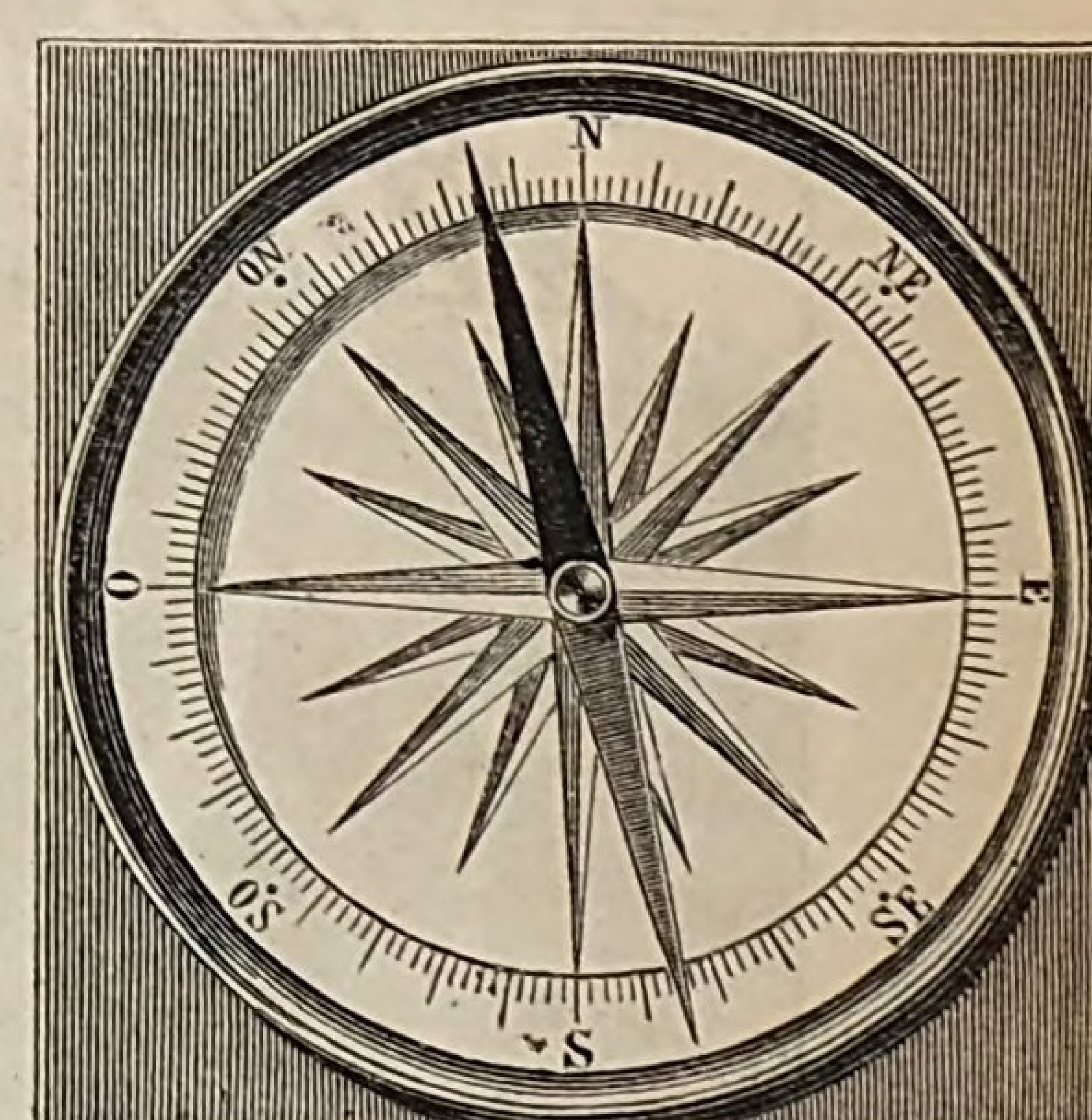


Fig. 306. Taschencompaß.

ein Lineal, dessen Mittelpunkt mit dem Drehpunkte des Compasses zusammenfällt und an dessen Enden zwei Diopter P und P′ senkrecht errichtet sind. Die Dose des Compasses, welche die Magnetnadel enthält, ist in der oben beschriebenen Weise in Ringen aufgehängt, sodaß sie immer horizontal bleibt, und über ihren Rand sind zwei Fäden a b und c d unter einem rechten Winkel gespannt, von denen der eine in die Ebene der Diopter fällt und mithin die Richtung der Visierlinie angiebt. An dem einen Diopter ist ein Spiegel angebracht, welcher mit der Horizontalebene einen Winkel von 45° bildet: blickt der Beobachter durch den anderen Diopter, so kann er in diesem Spiegel den Theilstrich des Kreises sehen, der sich gerade in der Richtung der Visierlinie befindet, während er gleichzeitig durch das nichtbelegte Spiegelglas hindurch nach einem Sterne visiert. Zur Controle liest ein zweiter Beobachter zu

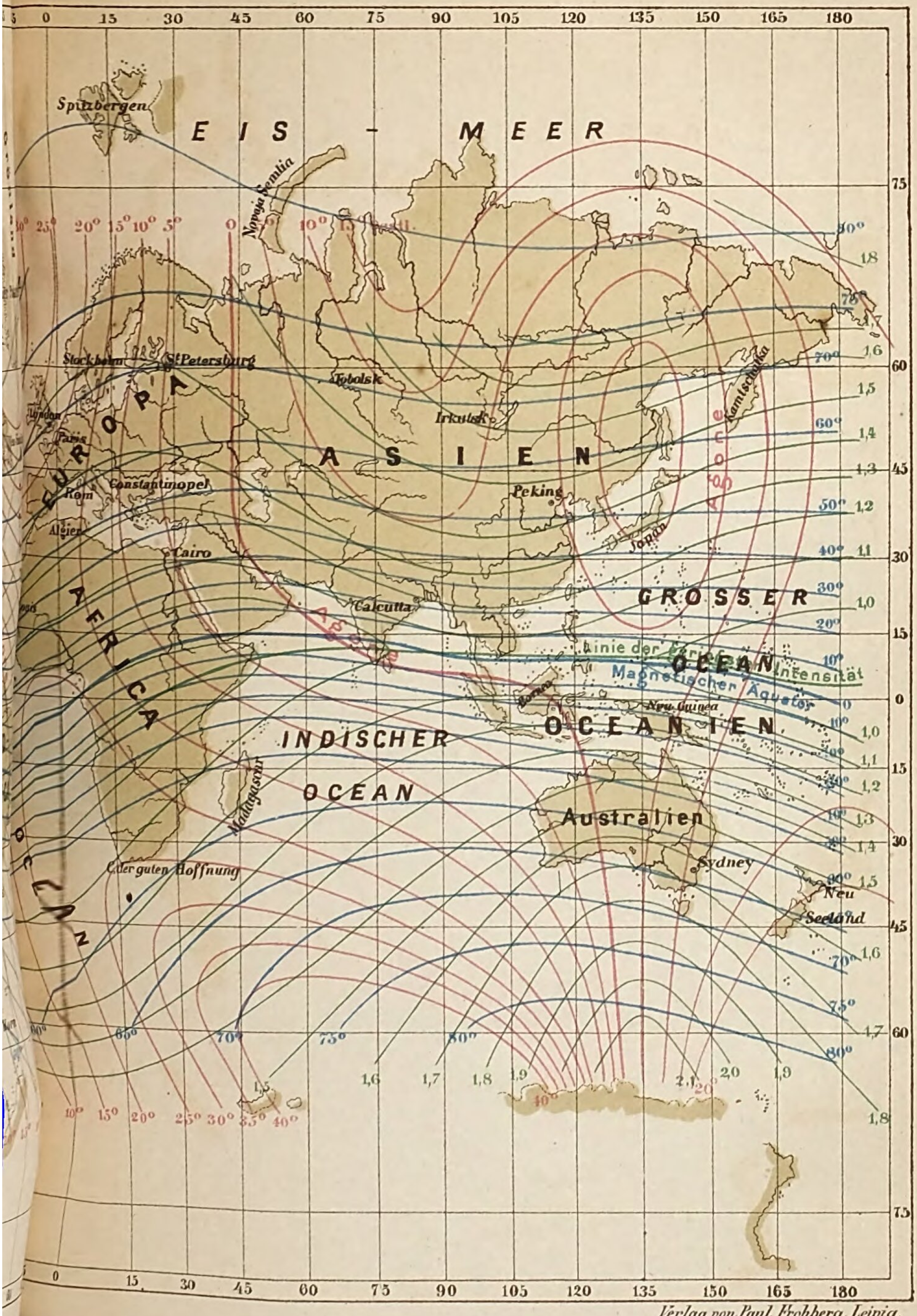
derselben Zeit die Einstellung des zweiten Fadens ab. Bestimmt man nun noch die Lage der Magnetnadel in Bezug auf die Theilung des Kreises und das Azimuth des Sternes zur Zeit der Beobachtung, letzteres mit Hilfe der astronomischen Tafeln, so läßt sich hieraus der Werth der Declination und die Richtung des Kieles berechnen. Als Gegenstände der Beobachtung lassen sich bei diesem Instrumente die Gestirne nur gebrauchen, wenn sie nicht zu hoch über dem Horizonte stehen: die größte Höhe dürfte 15 bis 20° wohl kaum überschreiten.

Wenn die Beobachtungen der Magnetnadel zuverlässige Resultate geben sollen, so ist vor allen Dingen nothwendig, daß alle Ursachen, welche irgendwie Störungen herbeiführen könnten, vom Compasse fern gehalten werden; so darf am Compaßhäuschen selbst durchaus kein Eisen zur Verwendung kommen, und auch aus der Nähe desselben muß man sorgfältig alle Eisenmassen fern halten, denn jede Störung kann die größten Gefahren herbeiführen, besonders dann, wenn man sich vollständig sicher davor glaubt. Zu unseren Zeiten, wo eine große Zahl von Schiffen entweder ganz aus Eisen gebaut, oder wenigstens äußerlich mit dicken Eisenplatten bedeckt sind, finden sich dergleichen Veranlassungen zu Störungen viel häufiger vor als früher, und es ist nicht unmöglich, daß manche Katastrophe durch eine außergewöhnliche Ablenkung der Magnetnadel, von der man nichts geahnt hat, herbeigeführt worden ist. Schon wenn die Eisenplatten am Rumpfe eines Schiffes festgenietet werden, kann möglicherweise durch diese Erschütterung in ihnen starker Magnetismus erregt werden: durch den Einfluß der Erde kann sich der Magnetismus vertheilen in einem Sinne, der von der Lage der Platten bei der Operation abhängig ist. Wenn nun solcher Magnetismus in den Theilen des Schiffes selbst erregt ist, so wirkt derselbe auch auf die Magnetnadel, sodaß die Ablesungen nicht mehr die richtigen Werthe ergeben. Um sich vor diesem Uebel zu schützen hat man verschiedene Mittel in Vorschlag gebracht: man stellt in verschiedenen Theilen des Schiffes noch mehrere Compasse auf und controliert durch sie den Steuercompaß; oder bringt starke Magnete oder Massen von weichem Eisen so an, daß die Einwirkung des eigenen Magnetismus des Schiffes auf den Compaß aufgehoben wird. Alle diese Mittel setzen aber voraus, daß man den eigenen Magnetismus des Schiffes untersucht und seinen Einfluß festgestellt hat: und hieraus folgt sogleich, daß sie ihren Dienst

Fäden aufgehängt sind; kennt man den Winkel, unter dem die Inclinationsnadel geneigt ist, so läßt sich aus der horizontalen Intensität (durch Division durch den Cosinus dieses Winkels) die Gesammtintensität leicht bestimmen.

Durch das genaue Studium aller dieser Verhältnisse, welches zwar schon in früheren Zeiten begonnen wurde, doch erst seit Anfang dieses Jahrhunderts mit ganz besonderem Eifer betrieben wird, und um das sich eine Reihe namhafter Gelehrter, wie z. B. Humboldt und Gay-Lussac, Hansteen und Sabine, Gauß und Weber, endlich alle Nordpolfahrer, vor Allem Kapitän Roß, die größten Verdienste erworben haben, ist nun allmählich die Vertheilung des Magnetismus auf der Erde in etwas klareres Licht gestellt, und es hat sich gezeigt, daß sich alle drei Größen, Declination, Inclination und Intensität, von einem Punkte der Erde zum andern in stetiger, aber keineswegs regelmäßiger Weise ändern. Um nun diese Vertheilung zu einer bestimmten Epoche der Anschauung näher zu bringen hat bereits um das Jahr 1700 Halley auf Erdkarten die Punkte gleicher Declination durch Linien verbunden, Humboldt aber hat dasselbe Verfahren auch auf die übrigen Elemente ausgedehnt und vervollkommnet. Eine nach diesen Grundsätzen gezeichnete Karte theilen wir auf Tafel XIV mit. Auf dieser Karte sind außer den geographischen Meridianen und Breitenkreisen noch drei Gruppen von Linien verzeichnet, welche durch die Farbe von einander unterschieden sind: nämlich die rothgezeichneten Isogonen, welche die Punkte verbinden, die gleiche Declination besitzen, die blauen Isoclinen oder Verbindungslinien der Punkte mit gleicher Inclination, und endlich die grünen Isodynamen oder Linien gleicher Intensität.

Ein Blick auf die Karte zeigt, daß die Isogonen nach zwei Punkten der Erdoberfläche hin convergieren, welche in der Nähe der geographischen Pole liegen und zugleich auch als gemeinsame Mittelpunkte der Isoclinen und der Isodynamen angesehen werden können; es sind dies die beiden magnetischen Pole der Erde, von denen der nördlich gelegene durch den Capitain John Roß im Jahre 1831 erreicht wurde, während der Neffe des Genannten, James Roß bis in die Nähe des südlichen vorgedrungen ist. An diesen Polen verliert die Declinationsnadel vollständig ihre Richtkraft, während sich die Inclinationsnadel senkrecht einstellt. Die Isogonen weichen, wie man sieht, sehr stark von den



Verlag von Paul Frohberg, Leipig.

TISMUS AUF DER ERDE

UND ISODYNAMEN.

nicht genügen; sie zeigt sich dann als ein verhältnißmäßig schlechter Leiter, ebenso wie die verschiedenartigen geologischen Formationen, auf denen sie ruht. Man muß schon bis zu der ersten wasserführenden Schicht vordringen, bis zu der Schicht, aus der die Brunnen, die nie versiegen, gespeist werden, und die wir als die unterirdische Wasserschicht bezeichnen, bevor man eine Fläche von genügendem Leitungsvermögen antrifft. Infolge ihrer Ausdehnung und ihrer ausgebreiteten Verzweigung kann diese Schicht niemals von den benachbarten Wasserläufen isoliert sein, und im Vereine mit ihnen, mit Flüssen und Strömen und mit dem Meere selbst, bildet sie das gemeinsame Behältniß für die Elektricität der Gewitterwolken, in welches mithin auch alle Blitzableiter einmünden müssen.

„Wenn die Gewitterwolke auch auf alle Punkte, die unter ihr liegen, vertheilend einwirkt, indem sie die Elektricität, die der in ihr enthaltenen entgegengesetzt ist, anzieht, die gleichnamige aber abstößt, so zeigt sich diese Wirkung doch am größten bei der unterirdischen Wasserschicht, in welcher die Vertheilung einen außerordentlich hohen Grad erreicht. Die ganze Oberfläche derselben ladet sich mit der Elektricität, die der in der Wolke aufgehäuften entgegengesetzt ist, während die gleichnamige in dem ausgedehnten gemeinsamen Behältnisse weit hin entweicht und sich zerstreut. Sobald der Blitzstrahl herniederfährt, so liegt der eine der beiden Ausgangspunkte, zwischen denen der Ausgleich erfolgt, in der Wolke, der andere aber in der unterirdischen Wasserschicht, welche gewissermaßen die zweite zum Ueberspringen des Funkens erforderliche Wolke vertritt. Auf diese Weise wird der Erdball in Wirklichkeit durch die Gegenwart der Gewitterwolken an einzelnen Stellen in den elektrischen Zustand versetzt, während er doch im Großen und Ganzen wesentlich im gewöhnlichen Zustande verbleibt; die Gebäude, Bäume, die lebenden Wesen und anderen Körper, welche vom Blitze getroffen werden, dürfen aber nur als Zwischenglieder angesehen werden, welche sich auf dem Wege befinden, den die Elektricität einschlägt, und im Vorübergehen von ihr getroffen werden.

„Bei alledem darf man aber keineswegs meinen, daß sich diese Zwischenglieder durchaus passiv verhalten und daß sie vollständig ohne Einfluß wären auf die Bestimmung und Abänderung des Weges, den der Blitzstrahl einschlägt: es ist im Gegentheile unzweifelhaft, daß sie in dieser Beziehung einen um so größeren Einfluß ausüben, je größer

Die Metallstange, welche als Leitung dient und welche, wie wir schon erwähnten, einen Durchmesser von ungefähr 15 mm haben muß, ist in engste Verbindung mit der Auffangestange zu bringen (Fig. 311), welche selbst am Zimmerwerke des Dachfirsten des Gebäudes zu befestigen ist, und zwar geschieht dies am besten dadurch, daß man beide an einander schweißt: und auch die einzelnen Stücke der Leitung, die sich theils in horizontaler, theils in vertikaler und theils in geneigter Lage befinden, sind an den Stellen, wo sie an einander stoßen, mit eben derselben Sorgfalt mit einander zu vereinigen. Gestützt werden die Leitungsstäbe durch Stützen aus Eisen in Gabelform, welche wohl ein Hin- und Hergleiten in der Längsrichtung gestatten, jedes Ausweichen nach der Seite aber vollständig hindern. Bisweilen ersetzt man die Eisenstäbe durch Taue, welche aus drei oder vier Litzen aus Eisendraht geflochten sind, die getheert sein müssen um das Rosten zu hindern. Man muß in diesem Falle besonders darauf achten, daß sich die Drähte des Taues mit der Auffangestange in einer möglichst großen Fläche berühren; dieselben sind an der Berührungsstelle sorgfältig vom Roste zu reinigen und an die Auffangestange selbst anzuschweißen. Weiter ist unbedingt erforderlich, daß alle größeren Metallmassen, die sich am oder im Hause befinden, wie die Dachrinnen, die aus Blei, Zink oder Weißblech gefertigt sind, die eisernen Träger und Dachstühle u. a. m., unter sich und mit dem Blitzableiter durch gute Leiter in Verbindung gesetzt werden.

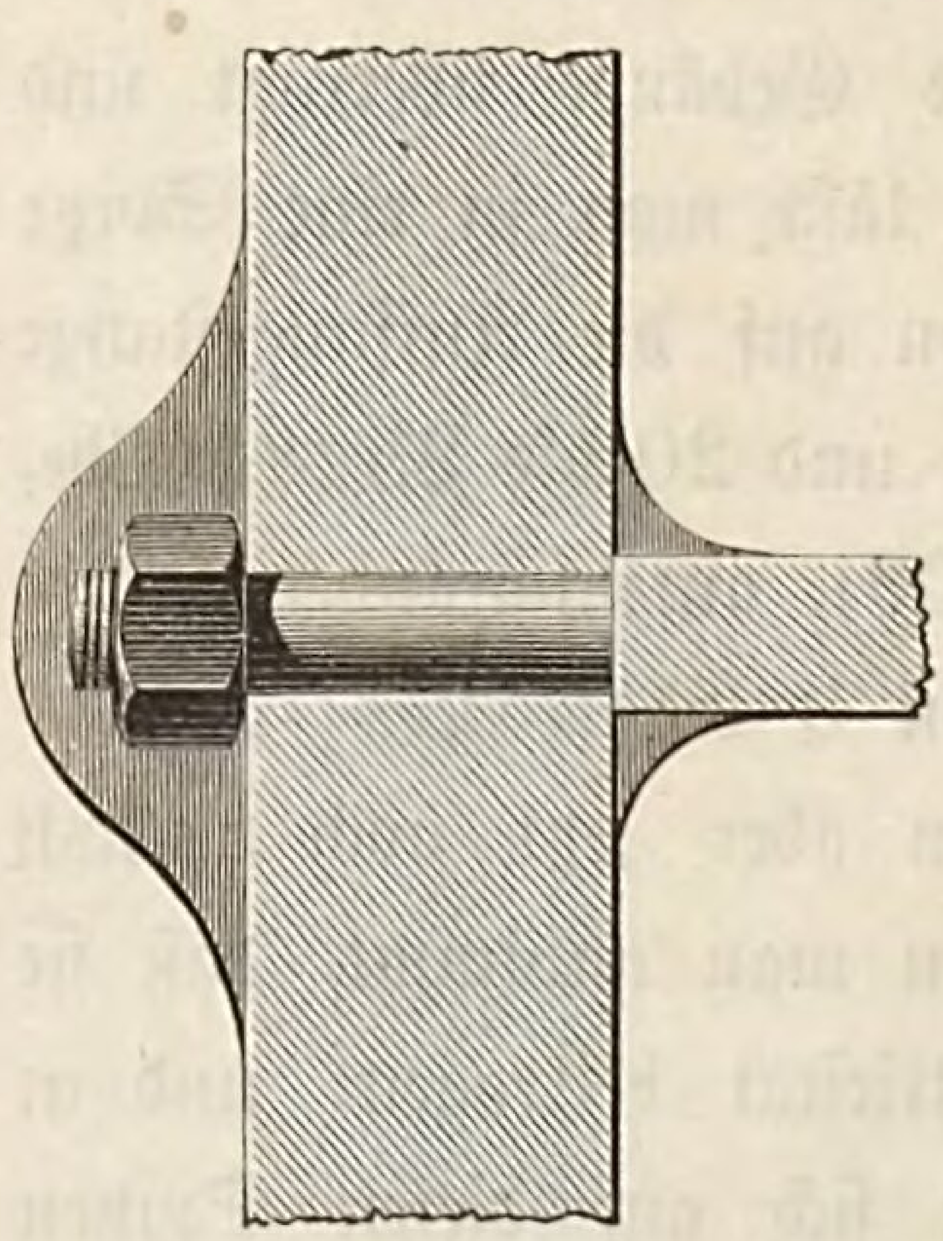


Fig. 311. Verbindung der Auffangestange mit der Leitung.

Wenden wir uns nun zu der wesentlichsten unter allen Forderungen, deren Nichterfüllung nicht allein die Wirksamkeit des Blitzableiters vollständig aufhebt, sondern ihn sogar in einen Apparat verwandelt, der bei einem schweren Gewitter eine ernstliche Gefahr herbeiführen kann. Diese Forderung besteht aber darin, daß die Leitung des Blitzableiters nicht allein bis an den Erdboden herabgeführt ist, sondern daß sie auch so tief in denselben eindringt, daß sie mit der unterirdischen Wasserschicht ununterbrochen in Berührung bleibt. Zu diesem Zwecke ist es noth-

geführt werden, ist unbedenklich, nur muß man immer, wenn man mehrere Leitungen zu einer einzigen vereinigt, dem Querschnitte der letzteren eine solche Größe geben, wie die einzelnen Leitungen zusammen genommen besitzen.

Zu denjenigen Gebäuden, die man ganz besonders vor dem Blitzschlage zu schützen hat, gehören selbstverständlich diejenigen, in denen leicht entzündliche oder explodierende Stoffe angefertigt oder aufbewahrt werden, wie Pulvermühlen, Pulvermagazine, u. a. m.: bei derartigen Gebäuden bringt man lieber die Blitzableiter auf Masten oder besonders aufgeführten Mauern, welche die Häuser selbst umgeben, an. Der Grund hierfür ist ein doppelter: einmal geschieht es leicht, daß, wenn ein Blitzstrahl der Hauptsache nach die Leitung des Blitzableiters durchströmt, ein Theil desselben doch seitwärts in das Gebäude abspringt, was im vorliegenden Falle eine ernstliche Gefahr herbeiführen kann; zweitens ist aber auch die Luft in der Nähe dieser Gebäude vor dem Blitzschlage möglichst zu schützen, weil in ihr stets eine Menge von Staubkörnchen schweben, die aus leicht entzündlichen Stoffen bestehen.

Die Schiffe, die auf freiem Meere fahren, sind dadurch, daß sie mit ihren Masten weit über die Fläche des Wassers herausragen, den Blitzschlägen sehr ausgesetzt und es ist daher sehr wichtig, daß man sie durch Blitzableiter schütze, deren Auffangestangen auf den Spitzen der Masten errichtet sind. Als Leitung kann man Metallstangen oder Drahtseile benutzen, welche von der Höhe der Masten herabgeführt sind bis zu dem kupfernen Beschlage des Kiels: die immerwährende Berührung mit der unendlichen Masse des Meeres macht diese Blitzableiter stets wirksam. Ein Engländer Harris hat für die Blitzableiter der Schiffe ein neues System der Ableitung erfunden, welches vor den bisher angewendeten den Vorzug besitzt, daß es sich allen Bewegungen und allen verschiedenen Stellungen des Takelwerkes anschmiegt, und welches deshalb auch in der englischen Kriegsmarine eingeführt worden ist: er umgiebt nämlich die Masten mit breiten Kupferblechen, welche mit der zweiten Verkleidung des Schiffes durch Leiter in Verbindung gesetzt werden. Wenn bei Anwendung dieses Systemes selbst die Masten durch den Sturm zerbrochen werden, so findet doch sogar in diesem äußersten Falle die Elektricität der Wolke eine gute Leitung, durch welche sie sich entladen kann ohne Zerstörungen im großen Maßstabe anzurichten. Arago

berichtet, daß die englische Fregatte Dryade, welche mit Blitzableitern nach dem von Harris angegebenen Systeme versehen war, an der afrikanischen Küste mehrmals von den heftigen Stürmen, die man mit dem Namen der Tornados bezeichnet, heimgesucht wurde, und daß in diesen Fällen die elektrische Masse längs der zusammenhängenden Kupferröhren in solcher Menge herabströmte, daß sie um dieselben eine Art von leuchtender Atmosphäre bildete und ein Geräusch verursachte wie heftig siedendes Wasser; das Schiff blieb aber durchaus unversehrt.

Drittes Kapitel.

Die elektrische Telegraphie.

§ 1. Erfindung der elektrischen Telegraphie.

Die Telegraphie oder die Kunst Nachrichten in weite Entfernung genau und wortgetreu mit großer Geschwindigkeit zu befördern ist eine Erfindung, welche vollständig der neueren Zeit angehört, deren erste unvollkommenen Anfänge noch nicht ein Jahrhundert alt sind und deren früheste Versuche, die mit einigem Erfolge begleitet waren, kaum vier Jahrzehnte zurückliegen. Wollte man in früheren Zeiten ein Ereigniß schnell bekannt machen, so hatte man nur sehr unvollkommene und dabei kostspielige Mittel zur Verfügung: man entzündete Feuer oder löste Kanonen, wenn es galt die Nachricht vom Eintreten eines Ereignisses zu verbreiten, ein Mittel, das natürlich nur dann Anwendung finden konnte, wenn die Art des erwarteten Ereignisses bereits bekannt war; oder man stellte Postenketten aus, welche in solchem Abstande von einander standen, daß sie sich die Nachrichten durch Sprachrohre zurufen konnten, kurz man hatte nur den Schall und das Licht für diesen Zweck zur Verfügung. Erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts begann man an der Verbesserung der Mittel, durch welche sich Nachrichten in vollkommnerer Weise in die Ferne hin mittheilen ließen, zu arbeiten und es war schon ein gewaltiger Fortschritt, als es gelang einen optischen Telegraphen herzustellen, durch welchen Nachrichten mit vollständiger Genauigkeit und zugleich unter Wahrung des Geheimnisses, wenn auch

langsam, in die Ferne gesendet werden konnten. Es war im Jahre 1793, daß der von Chappe erfundene oder wenigstens verbesserte optische Telegraph vom Nationalconvente angenommen und auf einer Linie zwischen Lille und Paris eingerichtet wurde; an verschiedenen Stationen wurden auf besonders dazu erbauten Häusern Maste errichtet, welche Arme trugen, die durch ihre Stellungen die verschiedenen Buchstaben des Alphabetes anzeigten: dadurch daß immer auf jeder Station die Arme so gestellt wurden, wie man es auf der vorhergehenden Station sah, ließen sich Depeschen weiter verbreiten, und dabei brauchten nicht einmal die Beamten auf den Zwischenstationen die Zeichen zu verstehen. Bald wurden weitere Linien in Frankreich und England eingerichtet, und noch in den Jahren 1832 bis 33 wurde eine derartige Verbindung zwischen Berlin, Magdeburg und Köln hergestellt.

Doch schon vor der Zeit, in welcher Chappe's Erfindung zur Ausführung gelangte, waren in einer ganz andern Richtung hin Versuche gemacht worden, welche dasselbe Ziel erstrebten: ein ganz neuer Zweig der Wissenschaft, die Elektricitätslehre, hatte die Existenz eines bis dahin fast unbekannten Mittels kennen gelehrt, welches sich mit einer Geschwindigkeit ausbreitet die der des Lichtes vergleichbar ist, und mehrere bedeutende Männer beschäftigten sich mit der Ausführung des Gedankens diese Naturkraft zur schnellen Ausbreitung der Nachrichten auf größere Entfernungen hin zu benützen. Freilich waren die ersten Versuche nicht sehr erfolgreich, nur ganz allmählich wurden die Apparate weiter entwickelt, aber noch nicht fünfzig Jahre waren vergangen, bis die neue Erfindung zu einem solchen Grade der Vollkommenheit gelangt war, daß sie Chappe's Telegraphen vollständig verdrängte. Jetzt umspannen die Drähte, durch welche die Gedanken des Menschen mit der Geschwindigkeit des Blitzes in die Ferne getragen werden, sei es im Dienst des Handels, der Politik oder der Wissenschaft, oder handele es sich nur um Mittheilungen privaten oder familiären Characters, den ganzen Erdball: sie bilden ein Netz von erstaunlicher Länge, welches nicht allein die Festländer bedeckt, sondern auch Meere und Oceane durchschneidet und alle Theile der Erde mit einander verbindet, so weit sich nur immer die Herrschaft der gebildeten Nationen, der Europäer und Amerikaner, erstreckt. Wie lange wird es noch dauern, so wird diese wunderbare Kette die ganze Ausdehnung des Großen Oceans durchschneiden und das

Festland von Nordamerika mit Japan und China verbinden und damit den Kreis schließen, der dann die ganze Kugel der Erde umschließt.

Wollten wir den Gang der Erfindung der elektrischen Telegraphen in allen Einzelheiten verfolgen, so würde dies einen Raum einnehmen, der die Grenzen dieses Buches weit überschritte: wir müssen uns daher begnügen die wichtigsten Wendepunkte in der Entdeckungsgeschichte anzuführen und zu zeigen, wie die weitere Entwickelung mit der Erweiterung der Kenntnisse in der Elektricitätslehre Hand in Hand geht.

Vor der Erfindung der Volta'schen Säule konnten die Versuche Nachrichten mit Hilfe der Elektricität weiter zu befördern zu keinem Resultate führen, das sich praktisch verwerthen ließ, und doch standen schon damals die Bestrebungen diese Aufgabe zu lösen keineswegs vereinzelt. So benutzte schon im Jahre 1774 Lesage die Elektricität einer gewöhnlichen Maschine um mit derselben in einige Entfernung hin Zeichen zu geben: er spannte zwischen den beiden Räumen, zwischen welchen eine Verständigung erzielt werden sollte, 24 isolierte Drähte aus, entsprechend den 24 Buchstaben des französischen Alphabetes, und hängte an das Ende eines jeden zwei Hollundermarkkügelchen an Fäden auf, welche dadurch, daß sie sich abstießen, das Elektrischwerden des entsprechenden Drahtes anzeigten; je nachdem er also die Elektricität der Maschine in den einen oder anderen Draht leitete, konnte er nacheinander die einzelnen Buchstaben der Worte bemerklich machen. Im Jahre 1798 kam Béthencourt auf den Gedanken das Ueberleiten der Maschinenelektricität durch das Ueberschlagen der Funken von Leidener Flaschen zu ersetzen, und eine solche Telegraphenleitung wurde auch wirklich zwischen Aranjuez und Madrid eingerichtet, durch welche in einer Entfernung von 44 Kilometer Nachrichten befördert werden konnten. Später brachte man um Irrungen zu vermeiden über den Knöpfen, zwischen denen die Funken übersprangen, Glastafeln an, auf welchen die Buchstaben aufgeschrieben waren, sodaß immer jeder Blitz den entsprechenden Buchstaben erleuchtete.

Die Entdeckung der Volta'schen Säule führte die Männer, die sich mit dieser Aufgabe beschäftigten, auf einen Weg, der einen bessern Erfolg versprach und durch den man sich der endlichen Lösung immer mehr näherte: die chemische Thätigkeit der Säule war es, welche man zunächst nutzbar zu machen suchte, und wenn dieser Gedanke auch vielleicht zuerst im Jahre 1800 vom Amerikaner Coxe ausgesprochen wurde, so gebührt

dem deutschen Physiker Sömmering das Verdienst einen derartigen Telegraphen zur Ausführung gebracht zu haben. Derselbe leitete die Drähte in ein Gefäß, in welchem beim Durchgange des Stromes das Wasser zersetzt wurde; je nach der Richtung, in welcher er den Strom verlaufen ließ, konnte er bewirken, daß sich der Wasserstoff, der doppelt so reichlich austritt als der Sauerstoff, bald an dem einen bald an dem andern Poldrahte ausschied, und dadurch war es möglich durch ein Gefäß zwei verschiedene Zeichen zu geben, sodaß für vierundzwanzig Buchstaben zwölf Gefäße erforderlich waren. Doch die Schwierigkeiten, die sich zeigten, als man diese vielen Drähte auf eine größere Entfernung hin isolieren wollte, verhinderte auch die Anwendung dieses Telegraphen.

Als im Jahre 1820 Oersted die höchst wichtige Entdeckung machte, daß die Magnetnadel durch einen elektrischen Strom, welcher über sie hinweg läuft, aus ihrer Lage abgelenkt wird, so versuchte man auch bald diese Eigenschaft für den Zweck der Zeichengebung in die Ferne auszunützen, und noch im Jahre der Entdeckung spricht sich Ampère hierüber folgendermaßen aus:

„Wenn man eben so viele Leitungsdrähte und Magnetnadeln zur Anwendung bringen wollte, als es Buchstaben giebt, so könnte man mit Hilfe einer Säule, welche entfernt von den Nadeln aufgestellt wird und deren Pole man abwechselnd mit den Enden der einzelnen Leitungsdrähte in Verbindung bringt, eine Art von Telegraphen einrichten, mittels dessen sich mit Ueberwindung aller Hindernisse jede beliebige Mittheilung machen läßt an Jemand, der beauftragt ist die Buchstaben zu beobachten, welche auf den Nadeln aufgezeichnet sind. Bringt man über der Säule eine Claviatur an, deren Tasten mit denselben Buchstaben bezeichnet sind und beim Niederdrücken die Verbindung herstellen, so könnten auf diesem Wege sehr leicht Mittheilungen gemacht werden, und hierzu würde nicht mehr Zeit erforderlich sein, als man braucht um einerseits die Tasten niederzudrücken, andererseits die Buchstaben abzulesen.“

Ampère's Vorschlag kam in der Weise, wie er ihn machte, nicht zur Ausführung: die Zahl der Nadeln, die man gebraucht hätte, wenn jede derselben nur für einen Buchstaben oder ein sonstiges Zeichen bestimmt gewesen wäre, würde zu groß gewesen sein; allein wir werden bald sehen, wenn wir von dem Nadeltelegraphen sprechen werden, daß das Princip, auf welches sich Ampère's Vorschläge gründeten, bei letzterem

Apparate zur vollen Anwendung gekommen ist. Die ersten, welche auf den Gedanken kamen, daß man mit einer und derselben Nadel verschiedene Zeichen geben könne, wenn man sie bald nach Rechts und bald nach Links ablenkte und wenn man die Ausschläge in kurzen Zwischenräumen wiederholte, waren die beiden berühmten Göttinger Gelehrten Gauß und Wilhelm Weber: dieselben stellten im Jahre 1833 in ihren Arbeitsräumen auf der Sternwarte und im physikalischen Cabinete Nadeln auf, welche sie durch eine Drahtleitung in Verbindung setzten; durch vorher verabredete Zeichen, welche sich aus Ausschlägen dieser Nadeln zusammensetzten, konnten sich die beiden Physiker Mittheilungen über ihre beiderseitigen Beobachtungen machen. Ungefähr um dieselbe Zeit stellte Schilling in St. Petersburg einen ähnlichen Apparat auf, an dessen Endstation sich fünf Nadeln befanden, zu welchen der Strom in dem einen oder anderen Sinne durch fünf Platindrähte geleitet wurde, die zu einem Kabel vereinigt, aber von einander isoliert waren. Durch Niederdrücken von Tasten ließ sich die Einführung des Stromes in die Drähte sehr leicht bewirken. Dadurch war die Erfindung des elektrischen Telegraphen aus dem Stadium der unsicheren Versuche herausgetreten und die Apparate hatten Formen angenommen, welche schon ganz brauchbar, aber noch sehr verbesserungsfähig waren. Wir wenden uns jetzt zu den vervollkommneteren Apparaten, wenn wir zuvor noch einiges über das Princip, auf dem sie beruhen, vorausgeschickt haben.

Wie wir erwähnten, beruhten die zuerst eingerichteten Telegraphen auf der von Oersted entdeckten Erscheinung, daß eine frei schwebende Magnetnadel durch einen elektrischen Strom, der neben ihr vorbeigeht, von ihrer Richtung abgelenkt wird: und auch jetzt sind noch Apparate im Gebrauche, die auf demselben Principe beruhen. Von allem Anfange an hat man die Leitung nicht in einer einfachen Linie über die Nadel hinweg geführt, sondern man ließ den Draht in vielfachen Windungen, welche sich gegenseitig in ihrer Wirkung unterstützen, um die Nadel kreisen: mit anderen Worten, man brachte den von Schweigger erfundenen Multiplicator, der auch Galvanometer genannt wird, zur Anwendung.

Wenig später aber kam man auf den Gedanken ein anderes Princip, welches bald nach Oersted's Entdeckung durch Arago aufgefunden wurde, nämlich den Elektromagnetismus für die Zwecke des Telegraphierens

tion einer Art von Maschinen, auf die wir in einem späteren Kapitel zu sprechen kommen, der sogenannten Elektromotoren: anderentheils kommt es aber auch hauptsächlich bei vielen telegraphischen Apparaten zur Anwendung, denn auch auf diese Weise lassen sich die Nachrichten, deren Wortlaut zuvor in die telegraphische Sprache übersetzt worden ist, nach der größten Entfernung hin und, Dank der enormen Geschwindigkeit des elektrischen Fluidum, in der kürzesten Zeit verbreiten.

Die Ablenkung der Magnetnadel und die Magnetisierung eines Eisenkernes durch den Strom sind die Principien, welche jetzt hauptsächlich beim Telegraphieren Anwendung finden; welches von beiden aber auch gewählt sein mag, so zerfällt der elektrische Telegraph immer in folgende vier Hauptheile:

1. der Stromerzeuger, Rheomotor oder Elektromotor: derselbe besteht meistens aus einer galvanischen Batterie, bisweilen jedoch auch aus einer magnetoelektrischen Inductionsmaschine;

2. die Leitung für die Elektricität: ein Draht oder ein Bündel von Drähten, durch welche der Strom von der Station, an welcher die Depeschen aufgegeben werden, nach der Empfangsstation übergeleitet wird;

3. der Zeichenmacher, den der Beamte handhabt, welcher die Depesche absendet; und endlich

4. der Zeichengeber oder Indicator, der durch seine Bewegungen an der Endstation in der einen oder anderen Weise Zeichen giebt, aus denen sich für den Beamten der Endstation der Inhalt der Depesche wieder zusammensetzt. Außer diesen für die Uebermittelung der Depeschen wesentlichsten Theilen werden wir später noch einige andere Apparate zu besprechen haben, die mit dem Telegraphen verbunden sind, wie die elektrischen Klingeln oder Wecker, das Relais, die Blitzableiter u. a. m. Die Zahl der verschiedenen Systeme, die man für die Einrichtung des Telegraphen in Vorschlag gebracht hat und zum Theil noch jetzt an den verschiedenen Punkten der Erde anwendet, ist eine sehr große: wir können uns daher an dieser Stelle nur mit den hauptsächlichsten Typen beschäftigen, und werden uns dabei vornemlich auf diejenigen beschränken, denen irgend ein besonderer Gedanke zu Grunde liegt, bei denen irgend ein specieller Mechanismus angebracht oder eine eigenthümliche Methode der Zeichengebung angewendet ist. In letzterer Beziehung lassen sich

aber befanden sich neben einander in der Mittellinie eines länglichen Vierecks, zu welcher sie in der Ruhelage senkrecht standen, während sich die Galvanometer mit den Drähten, die in sie einmünden, auf der Rückseite des Bretes befanden (Fig. 316). Ließ man nun mit Hilfe einer besonderen Schließvorrichtung den Strom um zwei Galvanometer im entgegengesetzten Sinne kreisen, so neigten sich entweder die oberen oder die unteren Spitzen der Nadeln gegen einander und zeigten gleich-

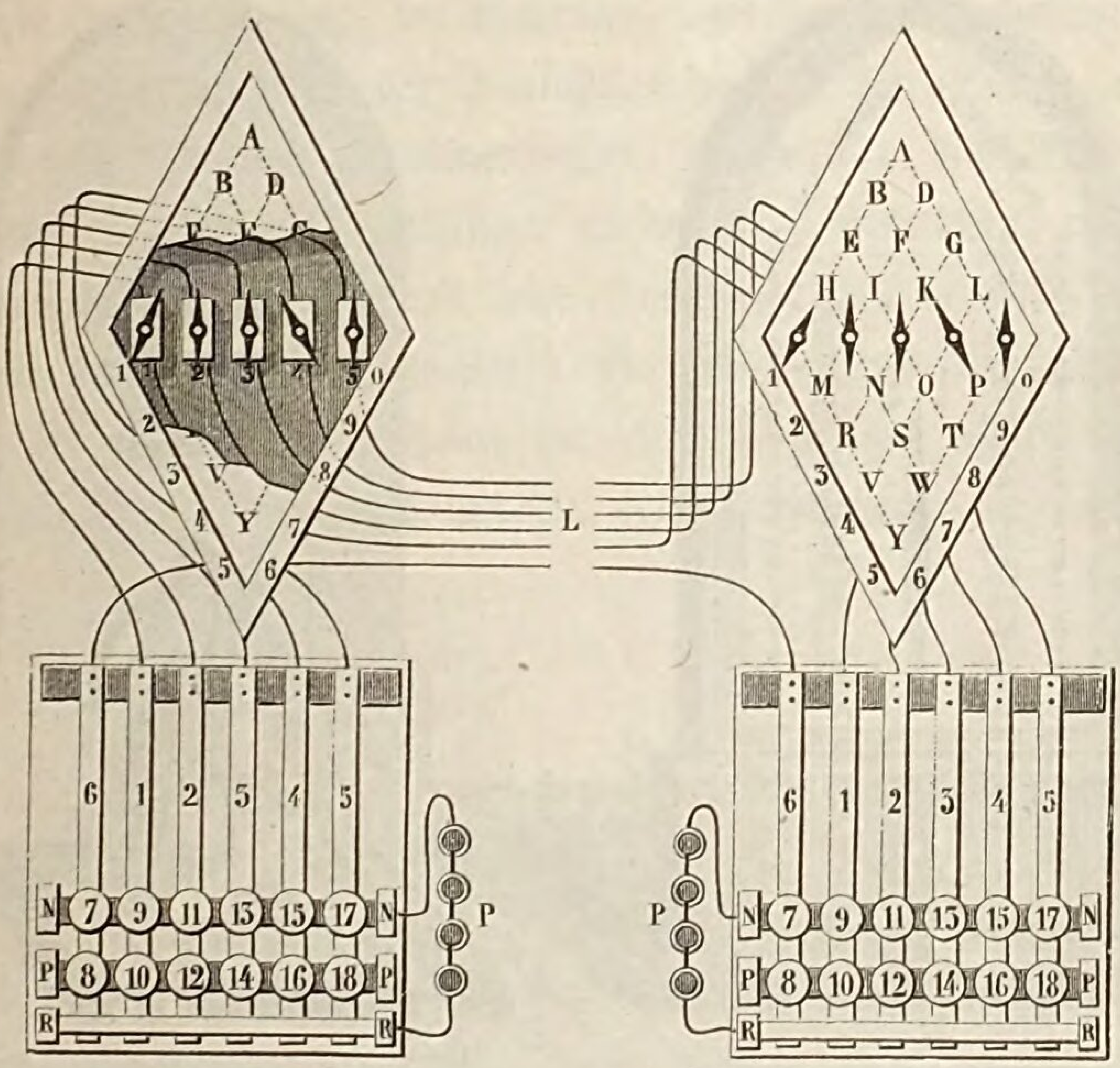


Fig. 316. Telegraph mit fünf Nadeln von Wheatstone.

zeitig nach einem der Buchstaben, welche auf dem Brete an bestimmten Stellen aufgeschrieben waren: ließ man z. B., wie in der Figur angedeutet ist, die 1. und 4. Nadel sich mit ihren oberen Enden gegen einander neigen, so zeigten beide auf den Buchstaben B; kehrt man für beide Nadeln die Stromrichtung um, so erhielt man den Buchstaben V. Ließ man nur eine Nadel allein ausschlagen, so bedeutete dies eine der Zahlen, die am unteren Rande des Vierecks aufgezeichnet standen.

An jeder der beiden Stationen befand sich ein solches Bret mit Buchstaben und Ziffern, und diese beiden Breter wurden durch die Leitungsdrähte so mit einander verbunden, daß die entsprechenden Nadeln

immer zugleich nach derselben Seite hin ausschlugen: so lange der Apparat ruhte, bildeten die fünf Galvanometerdrähte mit dem sechsten Leitungsdrahte, der bestimmt war den Strom zurückzuführen, einen geschlossenen Kreis, in dem ein Stromerreger aber nicht eingeschaltet war; sobald aber einer der Knöpfe, die mit den Nummern 7—18 bezeichnet sind, niedergedrückt wurde, so wurde dadurch die Batterie P in die entsprechende Leitung eingeschaltet, sodaß der Strom in derselben in der einen oder

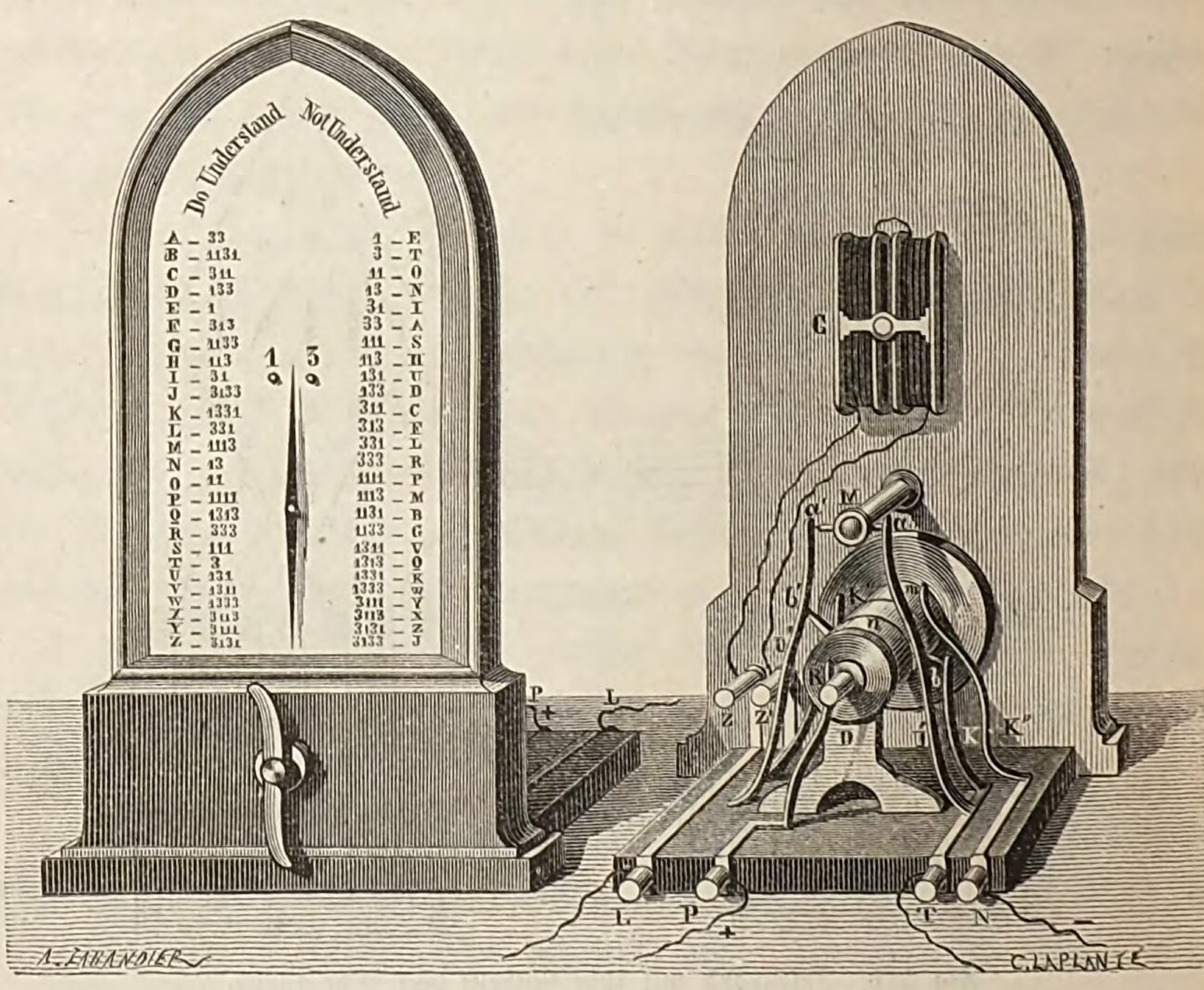


Fig. 317. Einfacher Nadeltelegraph von Cooke und Wheatstone.

anderen Richtung verlief, je nachdem man den einen oder anderen Knopf wählte, und die Nadeln der beiden Stationen zum Ausschlagen brachte. Dieses System wurde mit gutem Erfolge bei der Eisenbahn zwischen London und Birmingham angewendet, doch bald wurde es durch Wheatstone selbst, der unterdessen mit Cooke in Verbindung getreten war, noch weiter vereinfacht: besonders wurde die Zahl der Galvanometer von fünf auf ein oder zwei herabgesetzt und dem entsprechend die Zahl der Leitungsdrähte verringert. Auf diese Weise entstanden der einfache Nadeltelegraph und der Doppelnadeltelegraph, die jetzt noch in England angewendet werden und zu denen wir uns jetzt wenden.

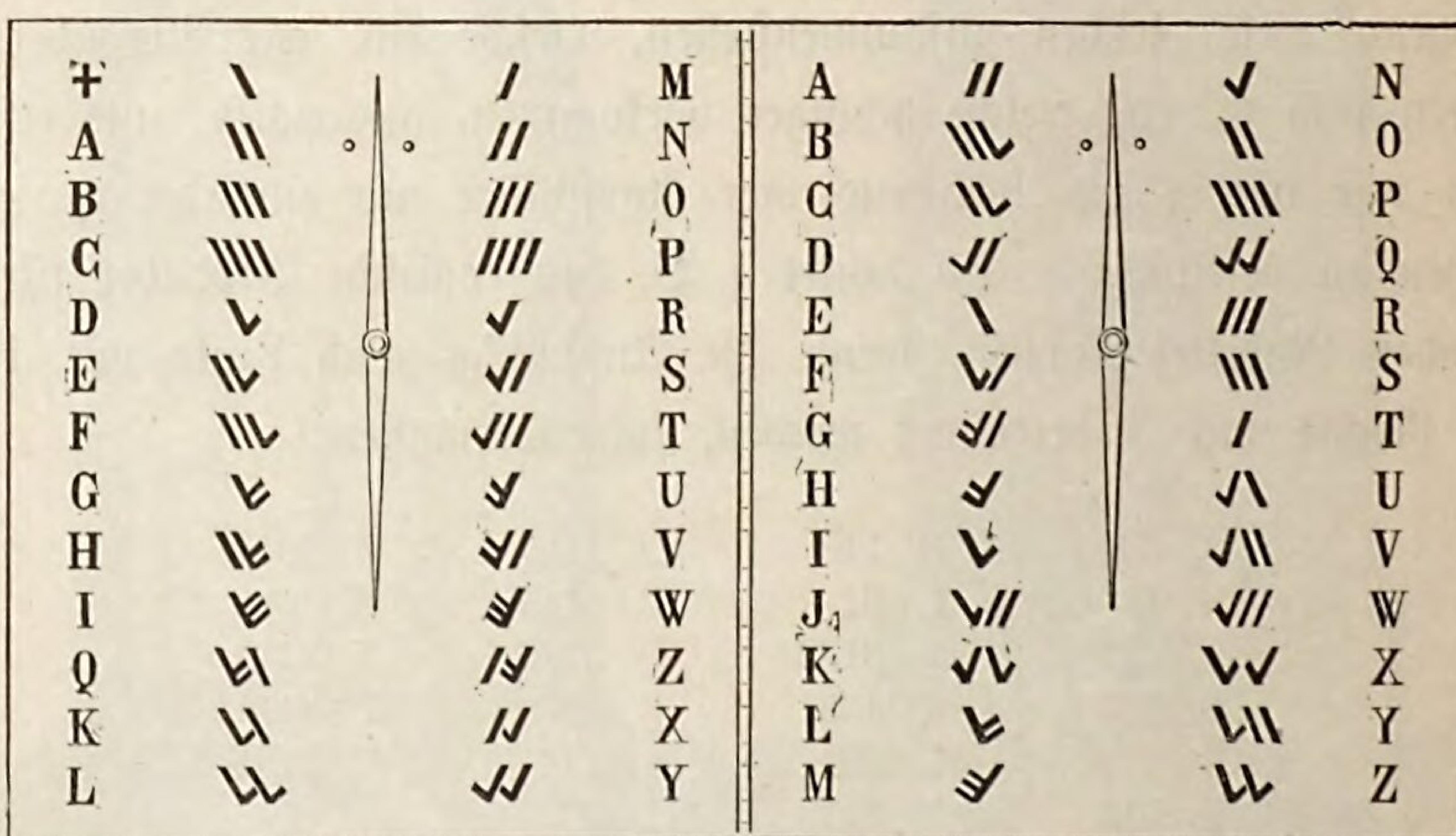
In Fig. 317 erblicken wir links die Vorderfläche des einfachen Nadeltelegraphen, wie sie sich sowohl auf der Anfangsstation, von der die Depesche ausgesendet wird, als auch an der Endstation zeigt: wir sehen dort in der Mitte die äußere Nadel des Galvanometers, die durch ihre Ausschläge nach Links und Rechts die Zeichen giebt; diese Ausschläge selbst werden durch zwei Elfenbeinknöpfe, welche in unserer Zeichnung mit 1 und 3 bezeichnet sind, auf ein enges Maß eingeschränkt. Am Fuße befindet sich ein Handgriff, den der Telegraphist nach Links oder Rechts dreht, ja nach der Richtung, nach der der Ausschlag erfolgen soll. Durch Combination der Ausschläge nach beiden Seiten ließen sich genügend viele Zeichen zusammenstellen, welche für das Alphabet, die Ziffern und Worte, welche häufiger vorkommen, ausreichen, und es war dabei nur nöthig bis höchstens vier Ausschläge mit einander zu einem Zeichen zu vereinigen. So lautet z. B. das englische Alphabet für den einfachen Nadeltelegraphen, wenn die Ausschläge nach Links mit 1, die nach Rechts mit 3 bezeichnet werden, folgendermaßen:

A	33	H	113	O	11	V	1311
B	1131	I	31	P	1111	W	1333
C	311	J	3133	Q	1313	X	3113
D	133	K	1331	R	333	Y	3111
E	1	L	331	S	111	Z	3131
F	313	M	1113	T	3		
G	1133	N	13	U	131		

Die Ziffern werden durch Ausschläge der unteren Spitze der Nadel angezeigt, nachdem zuvor durch ein bestimmtes Zeichen darauf hingewiesen worden ist, daß die nächsten Signale als Ziffern zu verstehen sind; ebenso wird durch ein anderes Zeichen bemerklich gemacht, wenn wieder Worte folgen sollen. Daß die Zeichen willkührlich gewählt werden können und nur den praktischen Bedürfnissen anzupassen sind, sodaß die einfachsten unter ihnen für die am häufigsten vorkommenden Buchstaben gewählt werden, ist selbstverständlich: und wir theilen zum Vergleiche in Fig. 318 die Alphabete mit, die man in Belgien und England gewählt hat, indem wir bemerken, daß man die Seite der Ausschläge aus der Lage der Striche erkennen kann, und daß die zusammengesetzten Zeichen so zu verstehen sind, daß zuerst die Ausschläge nach den Seiten erfolgen, die durch die kurzen Striche angedeutet sind; so wird z. B. der Buchstabe L im belgischen Alphabete durch rechts, links, rechts, links, im

englischen dagegen durch rechts, rechts, links dargestellt. Der Apparat und dessen Handhabung wird dadurch in keiner Weise abgeändert.

Den Mechanismus des einfachen Nadeltelegraphen kann man aus der rechten Hälfte der Fig. 317 ersehen, welche die Rückseite des Apparates darstellt. Wir erblicken daselbst bei G den Multiplicator, dessen Nadel sich um eine Axe dreht, welche an ihrem vorderen Ende den Zeiger trägt, der durch seine Ausschläge die Zeichen giebt. Auch als solchen Zeiger nimmt man gewöhnlich eine Magnetnadel, deren Pole aber die entgegengesetzte Lage haben als der innerhalb der Windungen



Belgien. England.

Fig. 318. Belgisches und englisches Alphabet für den einfachen Nadeltelegraphen.

befindliche Magnet: auf diese Weise bilden beide Nadeln ein astatisches System, wie es zuerst von Nobili angewendet worden ist; die Einwirkung des Stromes auf ein solches System ist viel beträchtlicher als auf eine einfache Nadel und infolge dessen spricht der Telegraph auch leichter. Die Enden des Drahtes werden durch die beiden Schrauben Z und Z′ festgehalten, von denen die ersten mit dem Leitungsdrahte L, welcher nach der nächsten Station hin führt, in Verbindung steht, während der zweite an einem Metallstreifen befestigt ist, welcher die beiden Federn U′ und K′ trägt, von denen die erstere eine größere Länge besitzt und in der Zeit, in welcher man nicht telegraphiert, bei a′ an einem Vorsprung der Messingsäule M anliegt. Ebenso legt sich auf der anderen Seite bei a eine gleiche Feder U an die Messingsäule M

sodaß an derselben die Nadel genau so ausschlägt wie an der Endstation.

Der **Doppelnadeltelegraph** (Fig. 319), welcher von denselben Erfindern herrührt, beruht auf ganz denselben Principien: nur sind sowohl an der Anfangs- wie an der Endstation je zwei Galvanometer aufgestellt: natürlich muß dem entsprechend auch die Leitung verdoppelt werden, wobei besonders auch auf gute Isolierung der Drähte zu achten

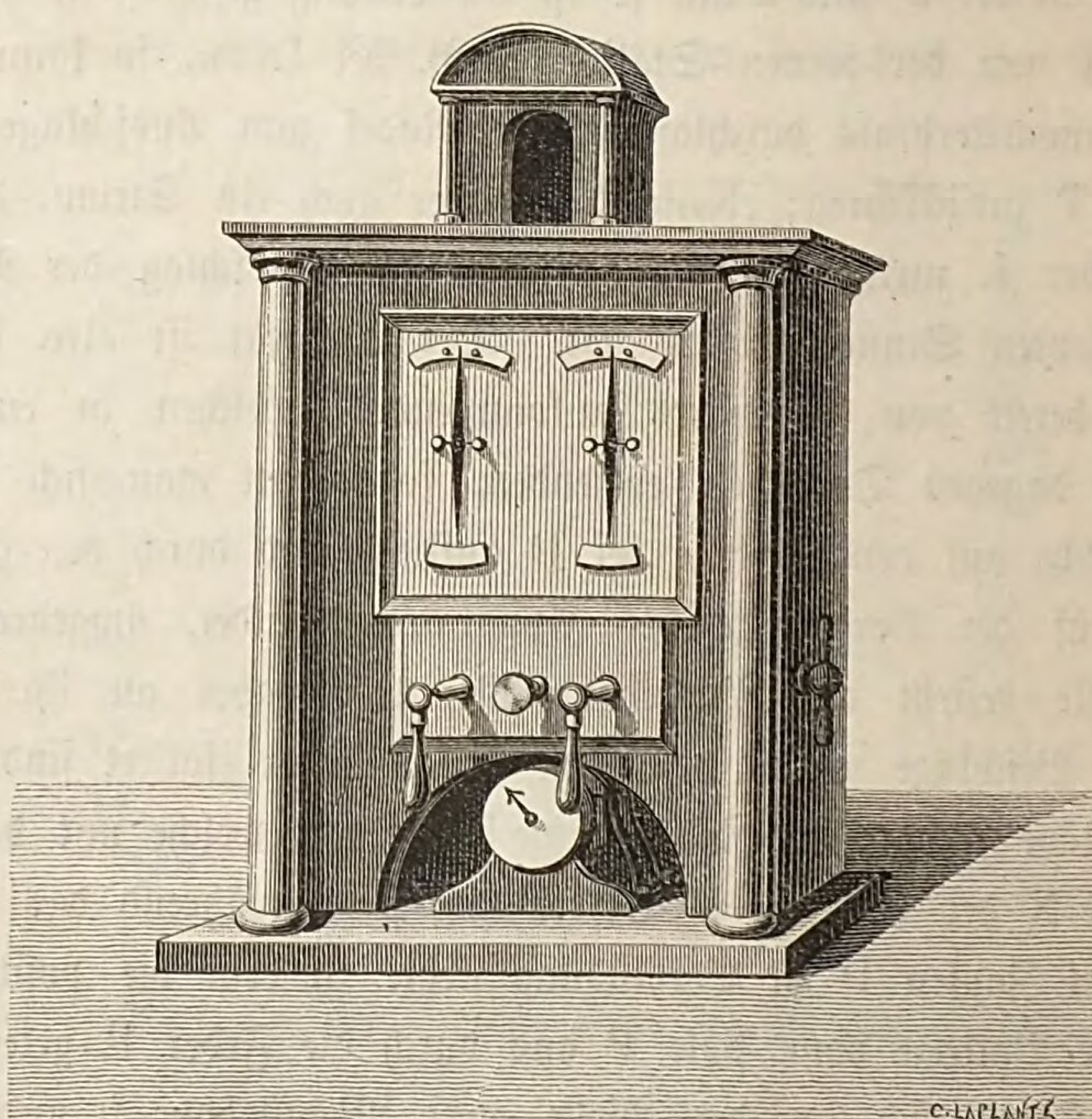


Fig. 319. Doppelnadeltelegraph.

ist. Beim Aufgeben der Depesche erfaßt der Beamte beide Handgriffe und dreht den einen oder andern oder gleichzeitig beide, nach der einen oder anderen Seite hin, so wie es die für das Alphabet und die Ziffern gewählten Zeichen verlangen, die wir in Fig. 320 mittheilen. Die Benachrichtigung des Beamten, daß eine Depesche von Auswärts an ihn gelangen soll, geschieht durch eine elektrische Klingel, welche oben auf dem Apparate aufgestellt ist. In der Zeit der Ruhe sind die Galvanometer aus der Leitung ausgeschaltet, die Klingel dagegen mit derselben in Verbindung gesetzt: sobald der Beamte den Klang der Glocke hört, giebt er ein Zeichen zurück, welches bedeutet, daß er aufmerkt, und dreht

nadeltelegraph erforderte auch dieser Apparat eine doppelte Leitung, doch haben die Erfinder später Apparate mit einfacher Leitung construiert, mit denen man immer noch 100—120 Zeichen in der Minute geben konnte. Der Zeichengeber oder Indicator dieses Telegraphen (Fig. 321) besteht aus zwei symmetrisch aufgestellten, von einander vollständig unabhängigen, sonst aber gleichen Apparaten, deren jeder eine Nadel in Bewegung setzt: diese Nadel, welche zur Hälfte schwarz, zur anderen Hälfte aber weiß gefärbt ist, kann infolge der Drehung eines Steigrades, an dessen Axe sie befestigt ist, acht verschiedene Stellungen einnehmen, zwei

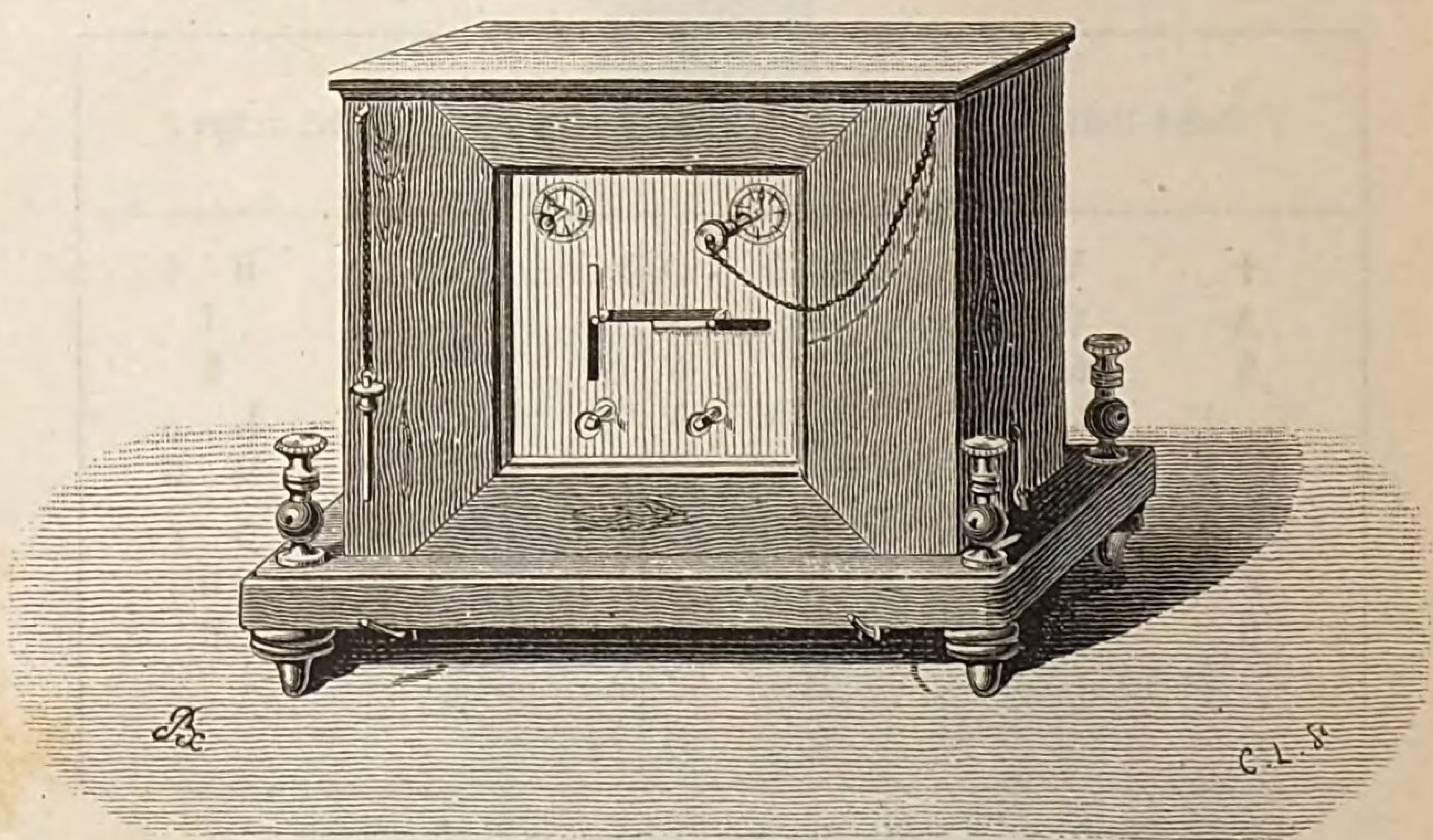


Fig. 321. Indicator des Nadeltelegraphen von Foy und Bréguet.

horizontale, zwei vertikale und vier unter einem Winkel von 45° geneigte, sodaß sich durch Combination der Stellungen beider Nadeln 64 verschiedene Zeichen geben lassen. Sobald ein Strom von der nächsten Station ankommt, so wird durch Anziehung des Ankers eines Elektromagneten das Steigrad und mit ihm die Nadel um 45° weiter gerückt, und ebenso erfolgt die gleiche Bewegung, wenn bei der Unterbrechung des Stromes der Anker wieder durch eine Feder von den Polen des Magneten zurückgezogen wird: die Einrichtung dieses Mechanismus werden wir bald bei der Besprechung des Zeigertelegraphen genauer kennen lernen. Zu jedem der beiden Elektromagnete führt eine Leitung, welche von einem Zeichenmacher kommt, sodaß auf der Anfangsstation ebenfalls zwei Zeichenmacher aufgestellt sein müssen, von denen Fig. 322 den

einen darstellt. Wir erblicken daselbst eine Kurbel M, welche in acht verschiedene Stellungen gebracht werden kann entsprechend den acht Kerben eines feststehenden Zahnrades, in welche ein an der Kurbel angebrachter federnder Zahn eingreift. An der Axe dieser Kurbel ist weiter eine Metallscheibe befestigt, in welche eine Spur eingeschnitten ist, die annähernd die Gestalt eines Quadrates hat, dessen Ecken aber abgerundet und dessen Seiten schwach gebogen sind. In diese Spur greift der Stift c des Hebels B c so ein, daß derselbe bei der Umdrehung der

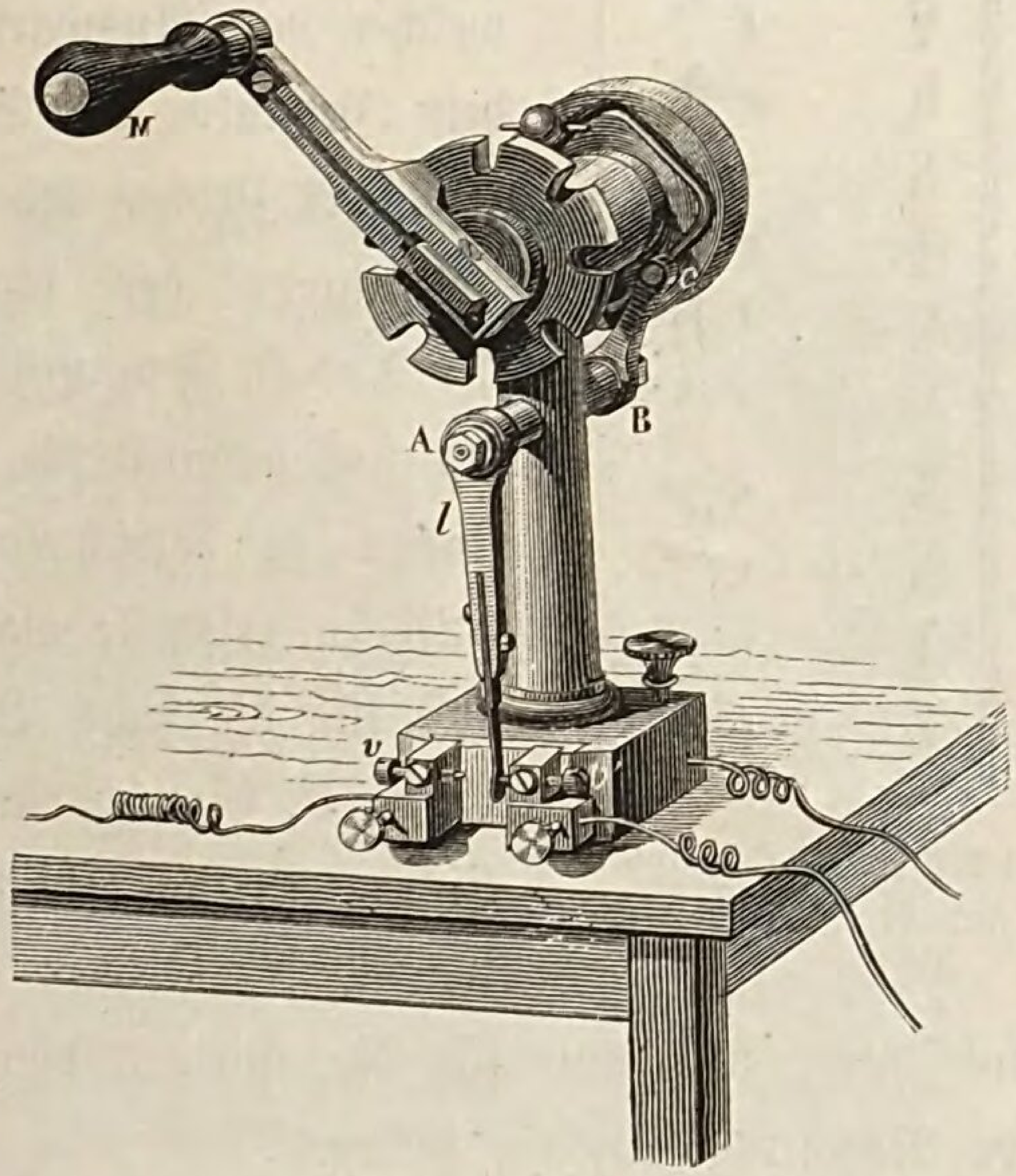


Fig. 322. Zeichenmacher des Nadeltelegraphen von Foy und Bréguet.

Axe bald derselben mehr genähert, bald wieder von ihr entfernt wird. Ist c der Axe am meisten genähert, wie es in unserer Zeichnung der Fall ist, so wird dadurch der Metallstab l, welcher mit dem Hebel B c an einer gemeinsamen Axe A B sitzt, gegen den Metallstift v′ gedrückt; dreht man dagegen die Kurbel weiter, bis ihr Zahn in die nächste Kerbe eingreift, so ist der eine Eckpunkt des Spurquadrates bis c gerückt, sodaß nun c in die größte Entfernung kommt und der Stab l sich gegen den Stift v legt. v′ und v sind durch Einsätze von Elfenbein von einander isoliert, und bei v′ ist der Poldraht der Batterie, bei v dagegen ein Draht, der zum Indicator der Anfangsstation führt, festgeschraubt; die Axe A B aber steht immer mit der Leitung L, die

zu der nächsten Station führt, in Verbindung. Liegt nun der Stab l an v′ an, so ist die Verbindung zwischen der Batterie und der Leitung hergestellt: der Strom geht zur nächsten Station und macht dort die Eisenkerne magnetisch, sodaß der Anker angezogen wird; bei der entgegengesetzten Lage aber wird der Strom unterbrochen und der Anker geht wieder zurück. Die letztere Lage muß man dem Stabe l auch in der Zeit geben, in der nicht telegraphiert wird, damit ein Strom, welcher von Auswärts ankommt, zu dem Indicator der Station gelangen und dort Zeichen geben kann. Welche Stellungen der schwarzen Hälften der Nadeln Foy und Bréguet wählten um dadurch die einzelnen Buchstaben zu bezeichnen, ist aus Fig. 323 zu ersehen: man bemerkt leicht, daß für die sechs Buchstaben A, B, C, E, F, G nur eine Bewegung der linken, für die sechs weiteren H, I, K, M, N, O nur eine der rechten Nadel erforderlich war, und nur für die übrigen vierzehn Buchstaben mußten sich beide Nadeln gleichzeitig bewegen.

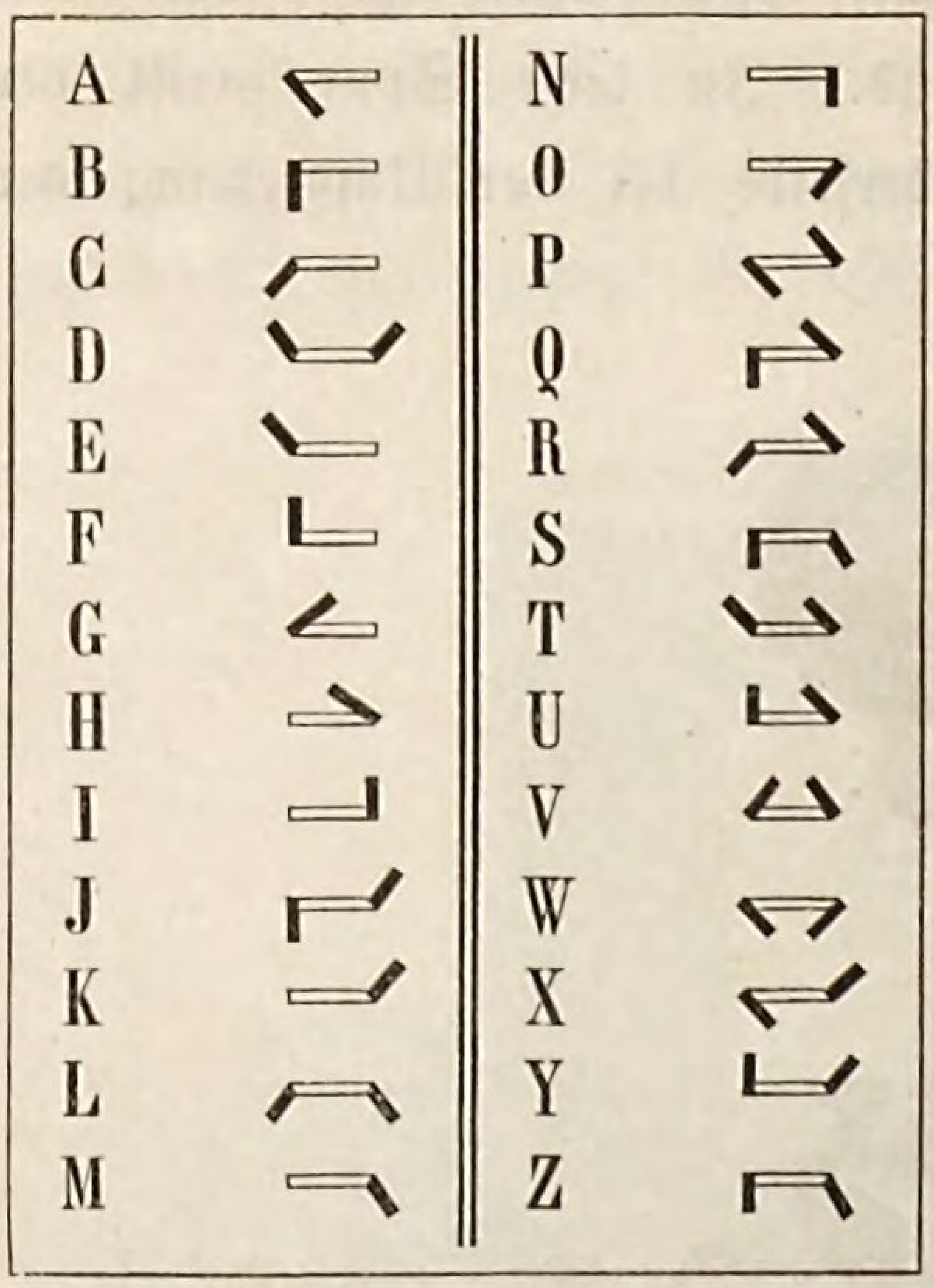


Fig. 323. Alphabet des Nadeltelegraphen von Foy und Bréguet

§ 3. Die Zeigertelegraphen.

Auch der Zeigertelegraph verdankt seine Erfindung dem oben genannten Wheatstone, die erste Linie aber, auf welcher derselbe im Juni 1844 zur Anwendung kam, war die Eisenbahnlinie von Paris nach Versailles: und auch seit jener Zeit ist er noch lange bei dem Eisenbahnbetriebe im Gebrauche geblieben, was darin seinen Grund hat, daß er sich sehr leicht handhaben läßt, so daß jeder Beamte sehr schnell lernt mit ihm Depeschen abzugeben oder entgegen zu nehmen. Seit Wheatstone's Zeiten hat auch dieser Telegraph vielfache Verbesserungen erfahren, doch wollen wir uns hier nur auf die wichtigsten Constructionen, die man ihm seitdem gegeben hat, beschränken.

N und N' befinden: durch Umdrehung des Handgriffes N oder N' läßt sich also leicht eine Verbindung zwischen der Kurbelaxe und der einen der beiden Leitungen herstellen; so ist z. B. in unserer Abbildung die Leitung auf der rechten Seite mit dem Zeichenmacher in Verbindung gesetzt, die auf der linken Seite dagegen ausgeschaltet, und es wird also bei jeder vollen Umdrehung der Kurbel M der Strom dreizehnmal nach der rechts liegenden Station gesendet und eben so oft unterbrochen. Soll eine Depesche entsendet werden, und ist die Aufmerksamkeit des Beamten auf der nächsten Station durch Anwendung der elektrischen

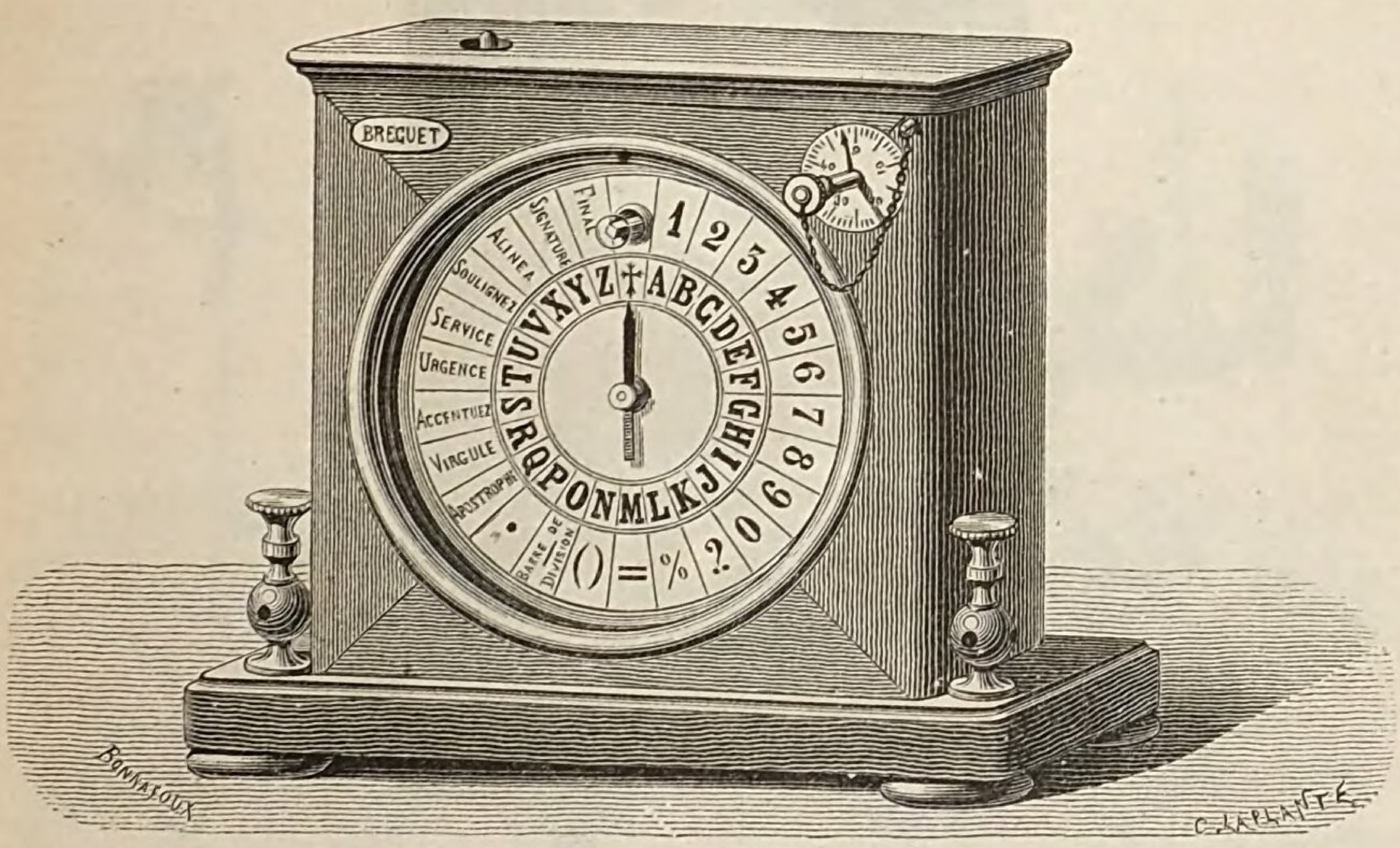


Fig 325. Indicator des Zeigertelegraphen von Bréguet: äußere Ansicht.

Klingel, von der wir später sprechen werden, erregt, so dreht man die Kurbel bis zu dem ersten Buchstaben des ersten Wortes, und hält daselbst eine kurze Zeit still, darauf dreht man immer in derselben Richtung, nöthigenfalls über das Kreuzchen hinweg, bis zum zweiten Buchstaben u. s. f., den Schluß des Wortes macht man dadurch kenntlich, daß man die Kurbel auf das Kreuzchen einstellt. Will man von den Worten zu den Zeichen übergehen, welche in der zweiten Zone verzeichnet sind, so stellt man die Kurbel zweimal nach einander auf das Kreuzchen ein. Es ist leicht verständlich, daß beim Weiterrücken der Kurbel von einem Felde bis zum nächsten der Strom jedesmal entweder geschlossen oder geöffnet wird und daß mithin der Anker auf der Endstation

auch eine Bewegung in der einen oder anderen Richtung ausführen muß: um so viele Abtheilungen also die Kurbel weiter gedreht wird, so viele Male bewegt sich auch der Anker des entfernten Elektromagneten.

Wenden wir uns jetzt zu dem Indicator, von welchem Fig. 325 die äußere Ansicht, Fig. 326 den Mechanismus in seiner Gesammtheit und Fig. 327 die wesentlichsten Theile des letzteren zeigt. Aeußerlich erscheint der Indicator als ein Holzkasten, der an seiner Vorderseite ein Zifferblatt trägt, welches genau dieselbe Einrichtung besitzt wie das

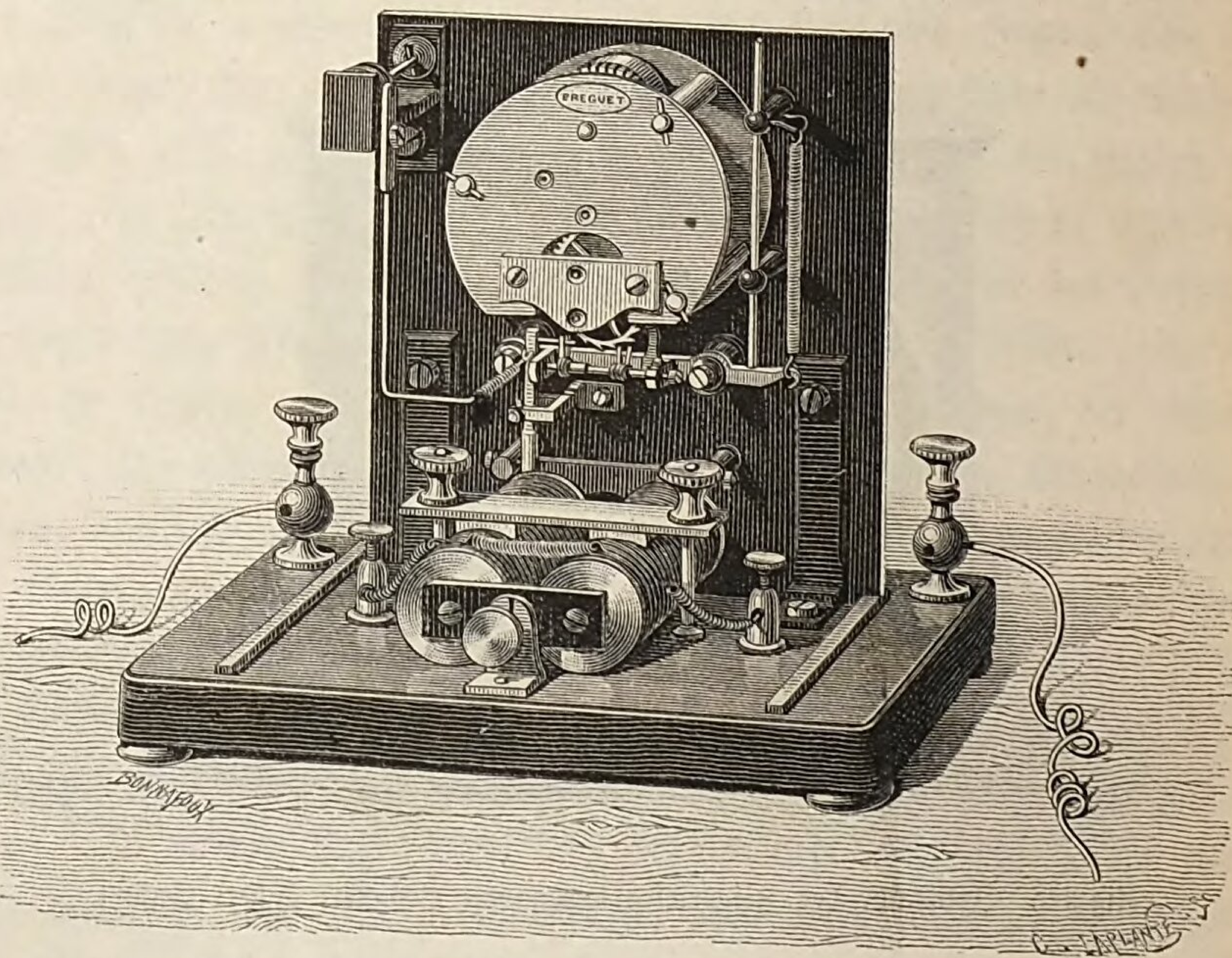


Fig. 326. Indicator des Zeigertelegraphen von Bréguet: innere Ansicht.

Zifferblatt des Zeichenmachers; vor demselben befindet sich ein Zeiger, welcher an der Axe des Steigrades eines Uhrwerkes, das sich im Innern des Holzkastens befindet, so befestigt ist, daß er bei jedem Weiterrücken des Rades um eine Abtheilung des Zifferblattes fortrückt; die Bewegungen des Steigrades aber werden durch das Hin- und Hergehen des Ankers des Elektromagneten geregelt. Die Leitung, welche von der nächsten Station kommt, endigt in dem einen der Ständer, welche wir in Fig. 326 an beiden Seiten erblicken; letztere aber stehen mit der Drahtspirale des Elektromagneten in Verbindung. Trifft der Strom ein, so umkreist er den Elektromagneten, geht von da aus in den anderen

construiert, bei welchem die Zifferblätter des Indicators und des Zeichenmachers hinter einer feststehenden Scheibe beweglich sind; aus letzterer ist ein Spalt ausgeschnitten, hinter dem die betreffenden Abtheilungen der Zifferblätter sichtbar werden.

Eine wesentliche Umgestaltung hat der Zeigertelegraph durch die beiden berühmten Mechaniker Siemens und Halske in Berlin erfahren, welche in ihrer Werkstatt Telegraphen bauen ließen, die sowohl auf mehreren deutschen, wie auch russischen und sogar englischen Eisenbahnlinien eingeführt worden sind; auch bei einigen Feuerwehren größerer Städte, wie in London, Danzig und Königsberg wurden derartige Apparate in den verschiedenen Stationen aufgestellt, damit zwischen ihnen Mittheilungen ausgetauscht werden können.

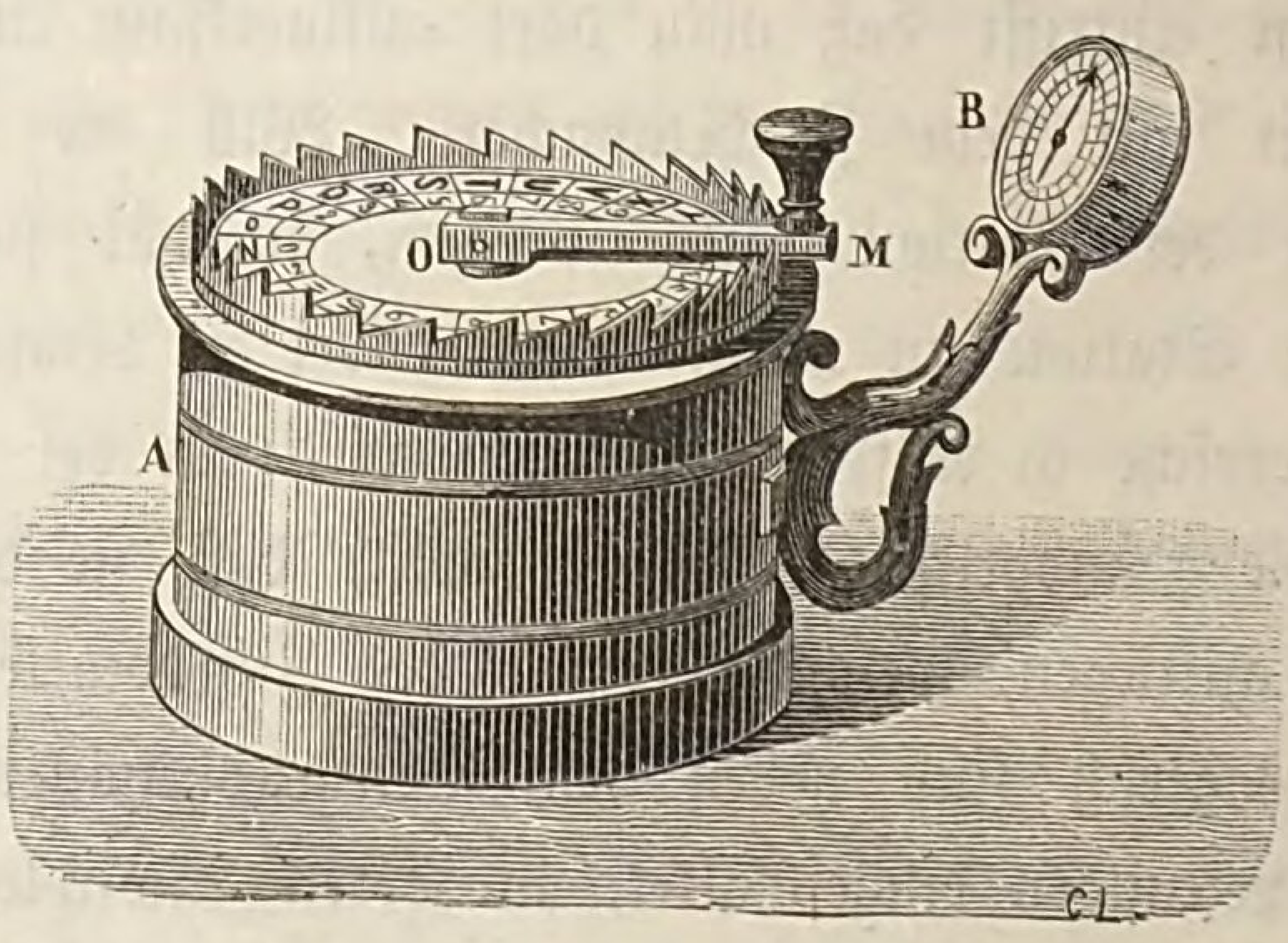


Fig. 328. Zeigertelegraph von Siemens und Halske.

Bei den Apparaten von Siemens und Halske werden die Ströme, die man zum Telegraphieren benutzt, dadurch erzeugt, daß ein eiserner Kern, der eine Drahtrolle trägt, vor den Polen von starken Hufeisenmagneten, welche dauernd magnetisch sind, in Umdrehung versetzt wird. Dadurch wird bei jeder halben Umdrehung in der Drahtrolle ein Inductionsstrom erregt, und zwar haben je zwei aufeinander folgende Ströme immer die entgegengesetzte Richtung. Gelangen diese Ströme durch die Leitung zu dem Elektromagneten des Indicators, so werden sie den Anker, welcher selbst ein dauernder Magnet ist, abwechselnd anziehen und abstoßen und dadurch den Zeiger in Umdrehung versetzen. Der Zeichenmacher (Fig. 328) erscheint äußerlich als ein cylinderförmiges Gefäß A, an welchem zugleich auch ein Indicator B befestigt ist. Ueber dem Zifferblatte befindet sich eine Kurbel O M, welche bis zu dem be-

versetzt: dieselbe trägt so viele Zähne, als die Claviatur Tasten hat, welche in zwei Reihen angeordnet sind, die sich in Form von Spiralen um die Axe herumziehen. Jeder dieser Zähne befindet sich in demselben Abstande von dem Ende der Claviatur wie die Taste, zu welcher er gehört und welche ebenfalls einen Vorsprung trägt, gegen den der Zahn der Axe im Verlaufe der Umdrehung stößt, wenn die Taste herabgedrückt ist. Im gleichen Augenblicke wird auch die Bewegung gehemmt und beginnt erst wieder, wenn die Taste losgelassen und eine neue niedergedrückt wird: die Zahl der ausgesendeten Ströme und der Unterbrechungen aber wird immer mit der Zahl der übersprungenen Buchstaben übereinstimmen, sodaß der Zeiger auf der Endstation auch immer die gewünschte Stellung einnehmen wird. Auch bei diesem Apparate gehen die Ströme zunächst durch den Indicator C der Anfangsstation, und hierdurch läßt sich immer controlieren, ob der Apparat richtig arbeitet. Für kürzere Linien hat Froment auch Telegraphen nach diesem Systeme construiert, die ohne Uhrwerk arbeiten, für lange Leitungen ist dasselbe dagegen unentbehrlich. Nach dem einstimmigen Zeugnisse der Sachverständigen, welche Gelegenheit hatten diesen Apparat zu prüfen, ist die Wirksamkeit desselben eine durchaus zuverlässige; so spricht sich z. B. Du Moncel über ihn folgendermaßen aus: „Welche Bewegungen man auch immer auf der Claviatur ausführen, auf welche Weise man auch die Tasten herabdrücken möge: sobald der Finger auf einer derselben ruht, so stellt sich auch der Zeiger sofort auf den entsprechenden Buchstaben ein.“

§ 4. Die Schreibtelegraphen.

Die beiden Systeme von Telegraphen, welche wir bisher besprochen haben, bieten mancherlei Vortheile dar, denen andrerseits aber auch Nachtheile gegenüber stehen. Die Nadeltelegraphen sind in ihrer ganzen Einrichtung außerordentlich einfach und für ihren Betrieb genügen schon ziemlich schwache Ströme: dafür sind sie aber auch leicht Störungen unterworfen und das Arbeiten mit denselben erfordert von Seiten der Beamten sehr große Aufmerksamkeit, wenn sich nicht Fehler und Irrthümer, besonders wenn es sich um Zahlen handelt, in die Depesche einschleichen sollen. Die Zeigertelegraphen haben dagegen einen viel zusammengesetzteren Mechanismus und erfordern eine viel größere elektro-

daß die Verbindung zwischen c und d unterbrochen, dagegen a mit b zur Berührung gebracht wird. Dies ist die Stellung, welche der Schlüssel annehmen muß, wenn eine Depesche von Auswärts anlangt, denn in dieser Lage werden die Ströme, welche in L ankommen, durch den Draht R zum Indicator geleitet. Will man dagegen eine Depesche abgeben, so drückt man den hölzernen Knopf K nieder und setzt dadurch den Pol der Batterie mit der Leitung L in Verbindung: dadurch daß man den Knopf wiederholt niederdrückt und längere oder kürzere Zeit in dieser Lage hält, ist es möglich die Zeichen an der Endstation hervorzurufen, aus denen sich, wie wir alsbald sehen werden, das Morse'sche Alphabet zusammensetzt.

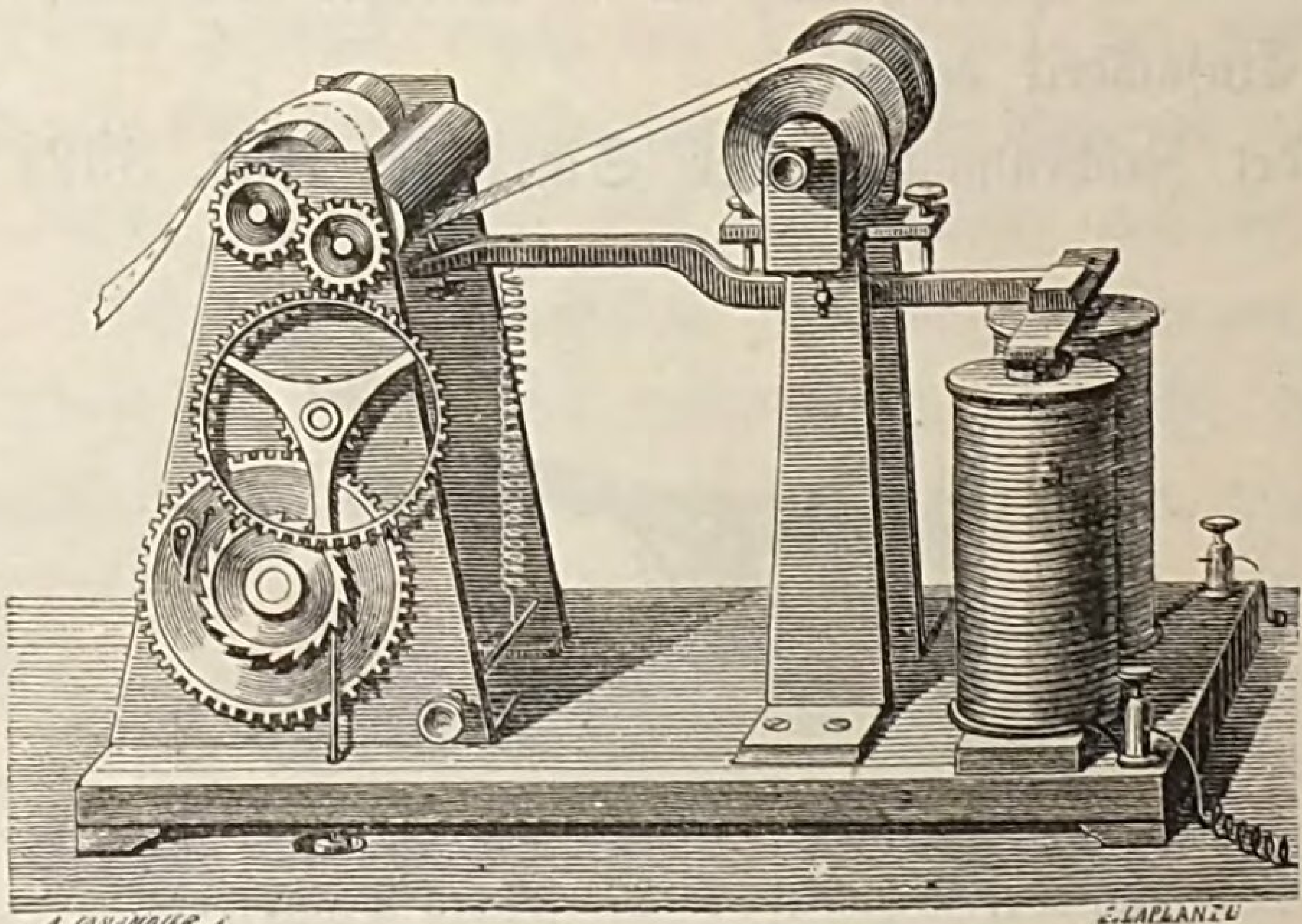


Fig. 333. Indicator des Morse'schen Telegraphen.

Auch der Indicator (Fig. 333) zeigt fast dieselbe Einfachheit wie der Schlüssel: er besteht aus einem Elektromagneten, dessen Draht auf der einen Seite mit der Leitung der Linie, auf der anderen mit der Erdleitung zusammenhängt. Sobald ein Strom ankommt und die Drahtspiralen durchläuft, zieht der Eisenkern einen Anker, welcher über ihm liegt, zu sich herab und bewegt dadurch einen Hebel, an dem der Anker befestigt ist. Bei Unterbrechung des Stromes wird dagegen der Hebel durch eine Spiralfeder wieder zurückgezogen: er bleibt also in der einen Lage, so lange der Strom circuliert, d. h. so lange der Knopf des Schlüssels auf der anderen Station niedergedrückt ist, kehrt aber in seine ursprüngliche Lage zurück sobald der Knopf wieder gehoben und der Strom dadurch unterbrochen ist. Die Bewegungen des Hebels

werden durch zwei Schrauben, die wir neben seinem Drehpunkte erblicken, auf ein geringes Maß eingeschränkt.

Auf der Seite des Hebels, die dem Anker entgegengesetzt ist, befindet sich ein Stift, welcher sich hebt, sobald sich der Anker senkt, und vor diesem Stifte liegt eine kleine Walze aus Holz, in welche rings herum eine Spur eingeschnitten ist, in die der Stift eingreift, sobald er gehoben wird. Zwischen Stift und Walze endlich befindet sich ein schmaler langer Papierstreifen, der durch ein Uhrwerk, welches diese und eine zweite dicht an ihr anliegende Walze in Umdrehung versetzt, immer weiter bewegt wird. Sobald der Anker angezogen wird, so drückt sich der Stift, welchen man den Schreibstift nennt, in das Papier ein und hinterläßt in ihm, während dasselbe durch das Uhrwerk weiter bewegt wird, eine vertiefte Spur: die Striche, welche auf diese Weise entstehen, werden eine Länge besitzen, die sich nach der Zeit richtet, während welcher der Strom geschlossen blieb. Anfangs wendete man als Schreibstifte kleine Bleistifte an: doch da dieselben sich zu bald abstumpften, so hat schon Morse ziemlich früh an ihrer Stelle Metallspitzen eingeführt, durch welche die Zeichen dem Papiere eingeprägt werden.

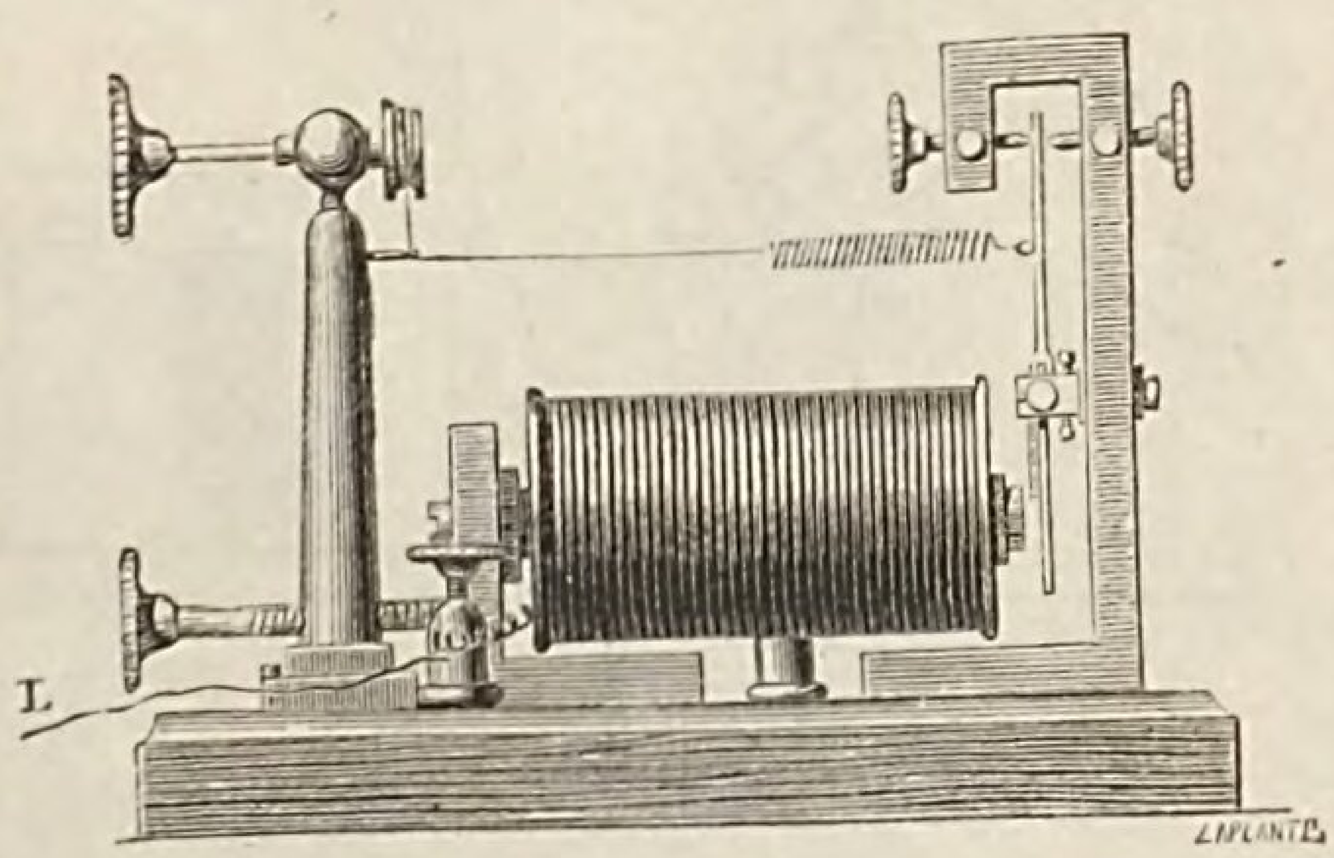


Fig. 334. Relais nach Froment.

Das Eindrücken des Schreibstiftes erfordert immer eine gewisse Kraft und es kann daher leicht vorkommen, daß bei langen Leitungen der ankommende Strom nicht genügt um diese Bewegung hervorzurufen. In diesem Falle schaltet man Apparate ein, welche man als Ueberträger oder Relais bezeichnet: wir geben als Beispiel in Fig. 334 das Relais von Froment, welches in Fig. 335 in den Kreis des ganzen Apparates eingeschaltet ist. Der ankommende Strom wird in die Windungen eines horizontal liegenden Elektromagneten geleitet, vor dem als Anker ein ziemlich leichter, aufrechtstehender Hebel sich befindet. Zu dem Drehpunkte dieses Hebels ist der Poldraht einer ziemlich starken Batterie, die sich an der Station selbst befindet, welche die Depesche erhalten soll, und die man als Localbatterie bezeichnet, geleitet. So lange der Anker nicht angezogen ist, liegt er an einer isolierten Schraube

an; sobald aber der Strom von der fernen Station anlangt, so bewegt sich der kleine Hebel so, daß er eine zweite Schraube berührt, von welcher eine Leitung zum Elektromagneten des Telegraphen hinüberführt, und schließt dadurch denselben in den Kreis der Localbatterie ein. Der von Auswärts kommende Strom hat also nur den leichten Hebel zu bewegen, durch den die Localbatterie geschlossen wird, und hierzu ist nur eine geringe Kraft erforderlich: das Schreiben wird durch den Strom der Localbatterie bewirkt.

Wie die einzelnen Apparate auf einer Station mit einander ver-

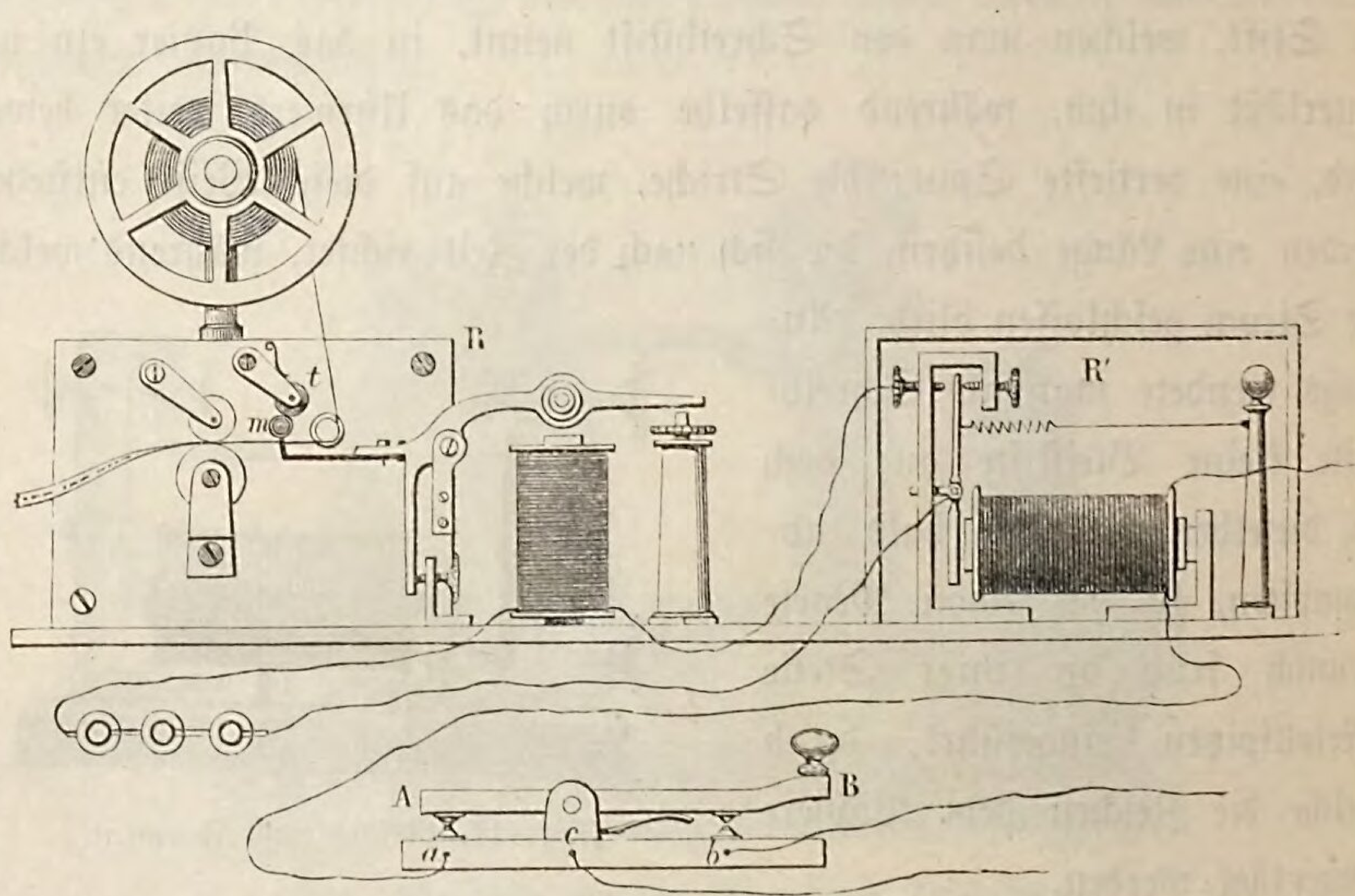


Fig. 335. Morse'scher Telegraph mit Relais.

bunden sind, kann man aus der schematischen Darstellung, Fig. 335 erkennen: wir sehen zunächst unten den Schlüssel, in welchen bei c die Leitung von der Linie einmündet, während von a ein Draht zu dem Elektromagneten des Relais R' geleitet ist, der schließlich nach Rechts zur Erde führt. Auf der linken Seite ist neben dem Schlüssel die Stellung der Localbatterie angedeutet, von welcher ein Draht zu dem Anker des Relais, der andere aber um den Elektromagneten des Schreibapparates R und von da aus weiter zu der Stelle hinführt, wo beim Anziehen des Ankers des Relais der Kreis der Localbatterie geschlossen wird. Sobald also der Strom von der fernen Station in c anlangt, so wird, wenn der Schlüssel in seiner Ruhelage ist, der Anker des

Relais angezogen und hierdurch sofort die Localbatterie geschlossen: der Schreibhebel muß sich also genau auf dieselbe Weise bewegen wie der Hebel des Relais. Will man eine Depesche absenden, so drückt man den Knopf B des Schlüssels nieder, unterbricht dadurch die Leitung bei a, bewirkt dafür aber, daß der Strom der Telegraphierbatterie, deren Poldraht bei b einmündet, über c in die Leitung der Linie gelangen kann.

Um die Kraft zu ersparen, welche erforderlich ist um den Schreibstift in den Papierstreifen einzudrücken, und um zugleich die Schrift noch

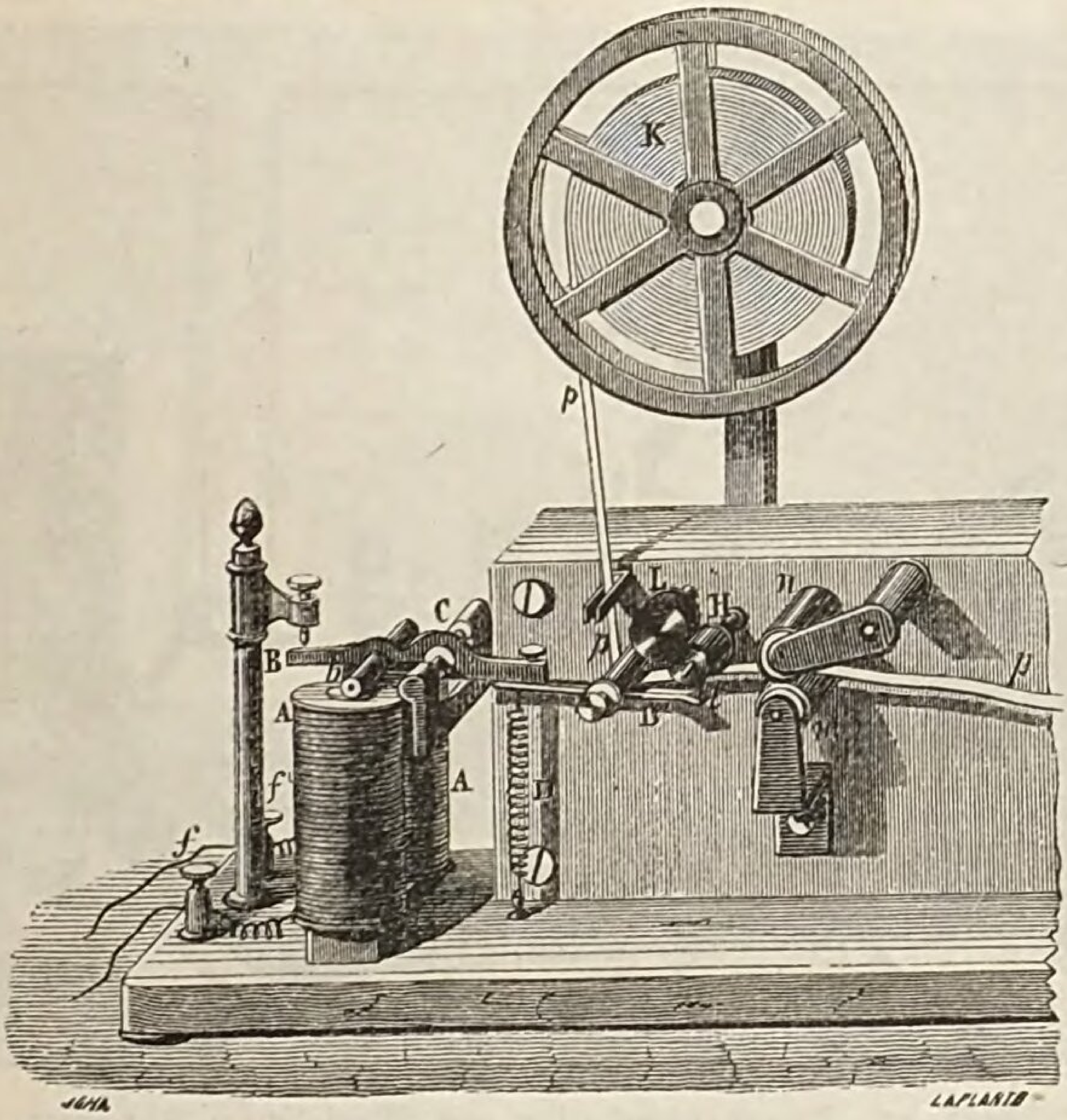


Fig. 336. Indicator nach Digney.

deutlicher hervortreten zu lassen hat Digney den Morse'schen Indicator so abgeändert, daß bei dem von ihm construierten Apparate, von dem wir in Fig. 336 eine Abbildung geben, die Zeichen mit Tinte auf das Papier aufgetragen werden: hierzu genügt eine so geringe Kraft, daß die Einschaltung eines Relais meistens gar nicht erforderlich ist, außer wenn die Leitung sehr lang ist. Wir bemerken zunächst den Papierstreifen p p, welcher durch ein Uhrwerk weiter geführt wird und sich dabei von der Trommel K abrollt, auf die er aufgewickelt ist: dasselbe Uhrwerk versetzt aber auch die Walze H in Umdrehung, welche dabei beständig mit dem mit Stempelfarbe bedeckten Tupfballen L in Berüh-

rung bleibt. Sobald der Strom durch die Leitungen f f anlangt und infolge dessen der Elektromagnet A den Hebel BB in Bewegung setzt, so hebt sich der kleine Stift l und drückt das Papier gegen die Walze H, und hierdurch wird bewirkt, daß die Farbe der Walze eine Spur zurückläßt, deren Länge von der Zeitdauer abhängig ist, während welcher der Strom geschlossen bleibt.

Fig. 337 zeigt uns das Innere einer Telegraphenstation mit Morse-schem Apparate: rechts steht der Schlüssel, von welchem ein Draht nach

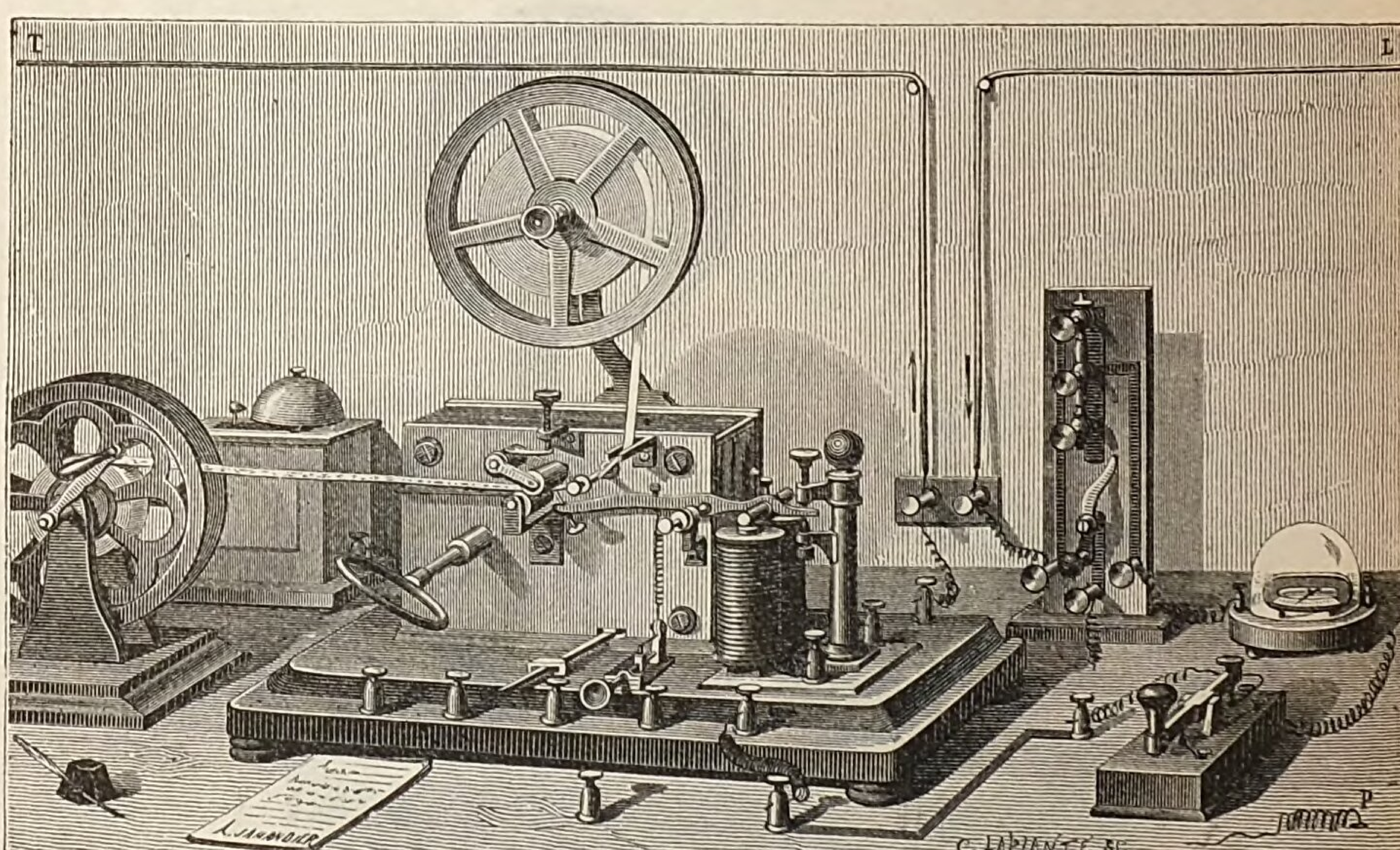


Fig. 337. Telegraphenstation mit Morse'schem Apparate.

der Leitung führt, in den ein Galvanometer und der Blitzableiter eingeschaltet ist; in der Mitte sehen wir den Indicator, an dem wir noch den Schlüssel bemerken, mittels dessen das Uhrwerk aufgezogen wird, und endlich links im Hintergrunde zeigt sich die elektrische Klingel oder der Wecker. Ueber die Zeichen, durch welche die einzelnen Buchstaben, Ziffern u. s. w. ausgedrückt werden, hat man sich im internationalen Telegraphenverkehr geeinigt, und wir theilen in Fig. 338 die Uebersicht derselben mit: wir sehen, daß dieselben aus ganz kurzen und etwas längeren Strichen zusammengesetzt sind, und zwar beträgt deren Zahl für die Buchstaben höchstens vier, für die Ziffern fünf, für andere Zeichen und Worte aber bis zu sieben oder noch mehr.

Buchstaben.

a	. —	o	— — —
ä	. — . —	ö	— — — .
b	— . . .	p	. — — .
c	— . — .	q	— — . —
d	— . .	r	. — .
e	.	s	. . .
f	. . — .	t	—
g	— — .	u	. . —
h	. . . .	ü	. . — —
i	. .	v	. . . —
j	. — — —	w	. — —
k	— . —	x	— . . —
l	. — . .	y	— . — —
m	— —	z	— — . .
n	— .	ch	— — — —

Zahlen.

1	. — — — —	6	— . . . .
2	. . — — —	7	— — . . .
3	. . . — —	8	— — — . .
4	. . . . —	9	— — — — .
5	. . . . .	0	— — — — —

Interpunktions- und andere Zeichen.

.	. . . . . .	Bruchstrich	— — — — — —
,	. — . — . —	Unterbrechung	— . — . — . —
;	— . — . — .	Verstanden	. . . — .
:	— — — . . .	Irrthum	. . . .
?	. . — — . .	Schluß	. — . — . — .
!	— — . . — —	Achtung	. — . . .
—	— . . . . —	Betrieb	. . . — . . .
,	— — — —	Empfangen	. — . . — . . — .

Fig. 338. Uebersicht der Zeichen für den Morse'schen Telegraphen.

Die Drucktelegraphen.

Trotz aller Verschiedenheit in der Construction der bisher besprochenen Telegraphen und in den Manipulationen, die bei ihrem Gebrauche zur Hervorrufung der Zeichen erforderlich sind, stimmen sie doch alle in dem einen Grundprincipe überein, daß zur Hervorbringung der Zeichen von der einen Station zur anderen eine bestimmte Reihe von elektrischen Strömen abgesendet wird, welche in dem Empfangsapparate oder Indicator der Endstation eine entsprechende Reihe von Bewegungen bewirken. Die Bewegungen des Zeichenmachers und des Indicators können in gleicher Weise erfolgen, oder sie können auch von einander verschieden sein: wesentlich ist nur, daß zwischen ihnen eine ganz feste Beziehung besteht, daß sie entweder genau gleichzeitig, oder wenigstens in denselben Zeitintervallen auf einander folgen. Diese genaue Uebereinstimmung in der Zeitfolge muß aber in noch viel höherem Grade eingehalten werden bei dem Drucktelegraphen von Hughes, zu dessen Betrachtung wir uns jetzt wenden.

Schon im Jahre 1841, also nicht lange nach der ersten Einführung der Telegraphen, stellte Wheatstone Versuche an zu dem Zwecke einen Telegraphen herzustellen, welcher die Depesche in gewöhnlichem Drucke mit den gebräuchlichen Lettern auf einem Papierstreifen wiedergeben sollte, und derselbe nahm auch Patent auf seine Erfindung. Allein weder sein Apparat, noch ähnliche Instrumente, welche später von verschiedenen anderen Mechanikern ersonnen wurden, konnten die an sie gestellten Ansprüche befriedigen, und erst dem amerikanischen Physiker Hughes war es vorbehalten einen Apparat zu construieren, welcher nicht allein mit voller Zuverlässigkeit, sondern zugleich auch mit sehr großer Geschwindigkeit arbeitet. Der letztere Vorzug empfiehlt besonders die Anwendung dieses Systemes auf solchen Linien, auf welchen der telegraphische Verkehr ein sehr lebhafter ist, denn mit ihm beansprucht die Beförderung einer Depesche nur ungefähr den dritten Theil der Zeit welche bei Morse's Telegraph dazu erforderlich ist, da bei ihm stets nur für jeden Buchstaben ein einziger Strom übergeleitet zu werden braucht, während bei Morse's Telegraph bis zu fünf Strömen erforderlich sind. Andrerseits ist die Einrichtung des Telegraphen von Hughes eine sehr complicierte, und infolge dessen ist der Apparat nicht allein ein sehr kostspieliger,

sondern seine Handhabung auch eine nicht ganz leichte, sodaß die Beamten immer längere Zeit gebrauchen, bevor sie erlernt haben mit Sicherheit durch ihn Depeschen zu befördern.

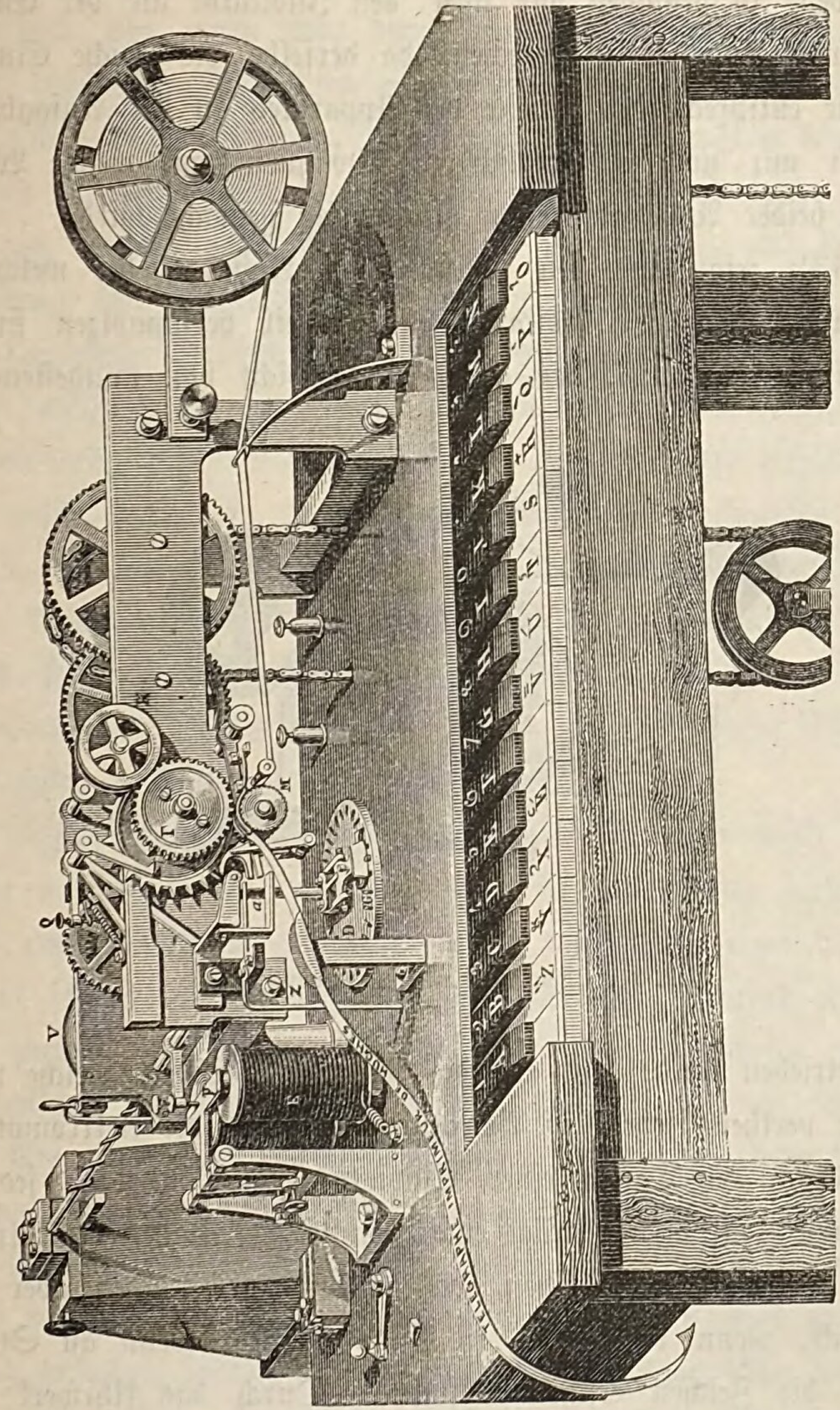


Fig. 339. Drucktelegraph von Hughes.

An dem Apparate, durch welchen bei dem von Hughes erfundenen Telegraphen die Depesche abgegeben wird, ist ebenfalls ein Indicator befestigt, welcher gleichzeitig mit dem Indicator der Endstation und in genau derselben Weise arbeitet, sodaß die Depesche sowohl auf der Auf=

gabestation, wie auch auf der Endstation gedruckt erscheint. Hierdurch ergiebt sich eine sehr einfache Controle. Wenn wir uns daher darüber klar zu werden suchen, in welcher Weise der Apparat an der Aufgabestation arbeitet, und wenn wir alle wesentlichen Theile desselben kennen gelernt haben, so brauchen wir über den Indicator an der Endstation nicht weiter ausführlich zu sprechen, da derselbe die gleiche Einrichtung hat wie die entsprechenden Theile des Apparates an der Aufgabestation, und es ist nur noch erforderlich zu erwähnen, auf welche Weise die Bewegung beider Apparate genau gleichmäßig gemacht wird.

Fig. 339 zeigt uns den vollständigen Apparat, bei welchem der Zeichenmacher und der Indicator zum Theil verschmolzen sind: ein äußerst kräftiges Uhrwerk, das durch ein Gewicht von mindestens einem

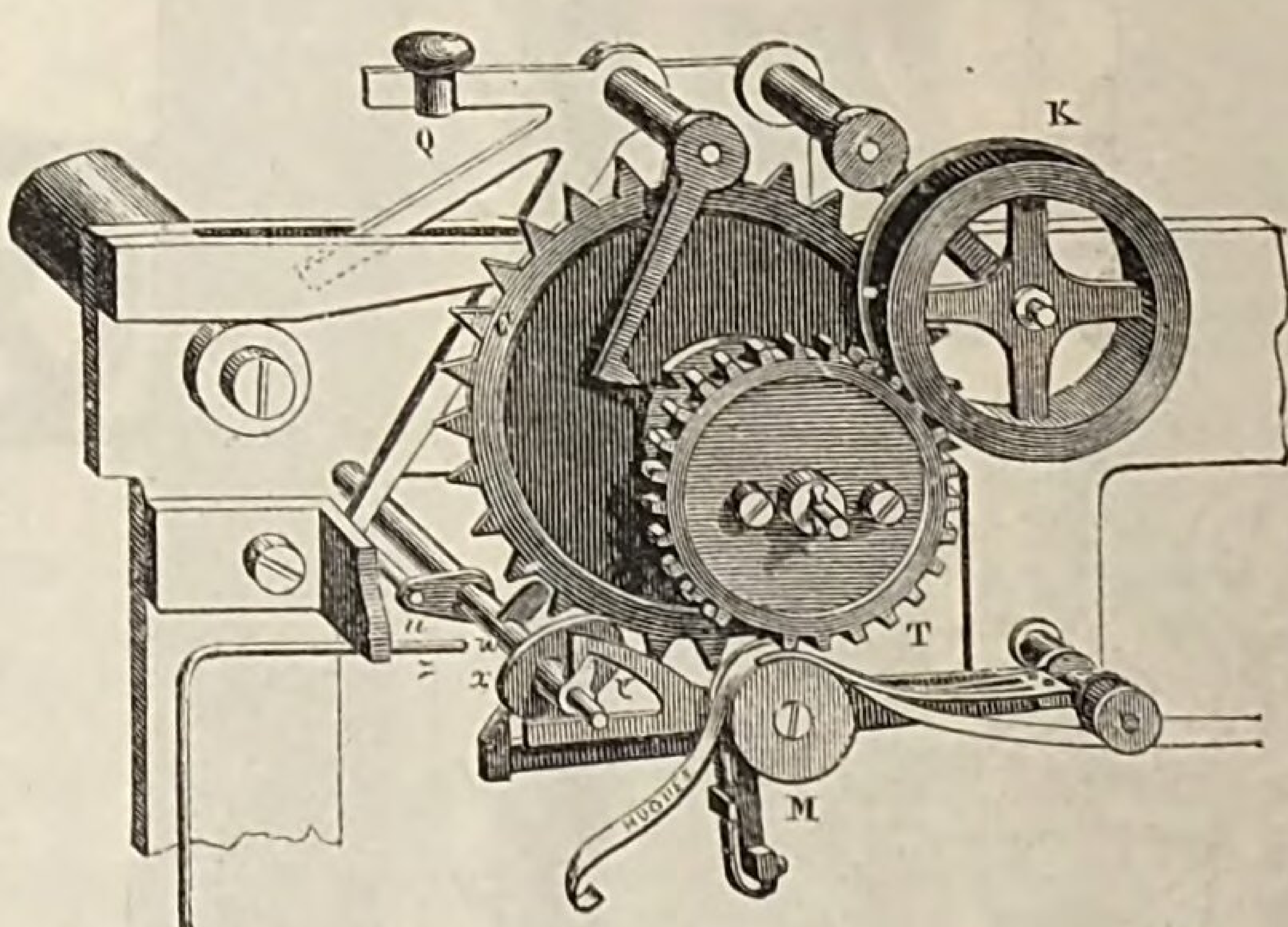


Fig. 340. Typenaxe und Druckvorrichtung.

Centner getrieben wird, setzt alle die Axen und Räder, welche wir auf dem Tische vertheilt sehen, in Bewegung, während die elektromotorischen Apparate durch die Tasten einer Claviatur regiert werden; jede dieser Tasten, deren Zahl 28 ist, trägt einen der 26 Buchstaben des Alphabetes und über demselben ein Zeichen, die zwei übrigbleibenden aber werden niedergedrückt, wenn das Wort zu Ende ist und wenn an Stelle der Buchstaben die Zeichen erscheinen sollen. Durch das Uhrwerk werden drei Axen mit verschiedener Geschwindigkeit in Umdrehung versetzt, von denen zwei horizontal liegen, während die dritte aufrecht steht: die erste dieser Axen, welche Typenaxe genannt wird, trägt an ihrem Ende ein Zahnrad T (Fig. 340 und 341), auf dessen Zähnen außerhalb die Buchstaben des Alphabetes, und hinter ihnen die Zeichen, welche auf

einander isolierten Theilen, von denen der untere nach der Erde hin abgeleitet ist, während vom oberen ein Leitungsdraht zu dem Elektromagneten der Anfangsstation und von dort aus weiter in die Leitung, die zu der entfernten Station führt, übergeht. Der Schlitten besteht aus zwei Theilen v und v', von denen der obere sich mittels einer Schraube V gegen den unteren lehnt, sodaß der Batteriestrom durch ihn sofort zur Erdleitung abgeleitet wird, so lange dieser Arm v nicht gehoben ist. Sobald nun eine Taste niedergedrückt und dadurch das

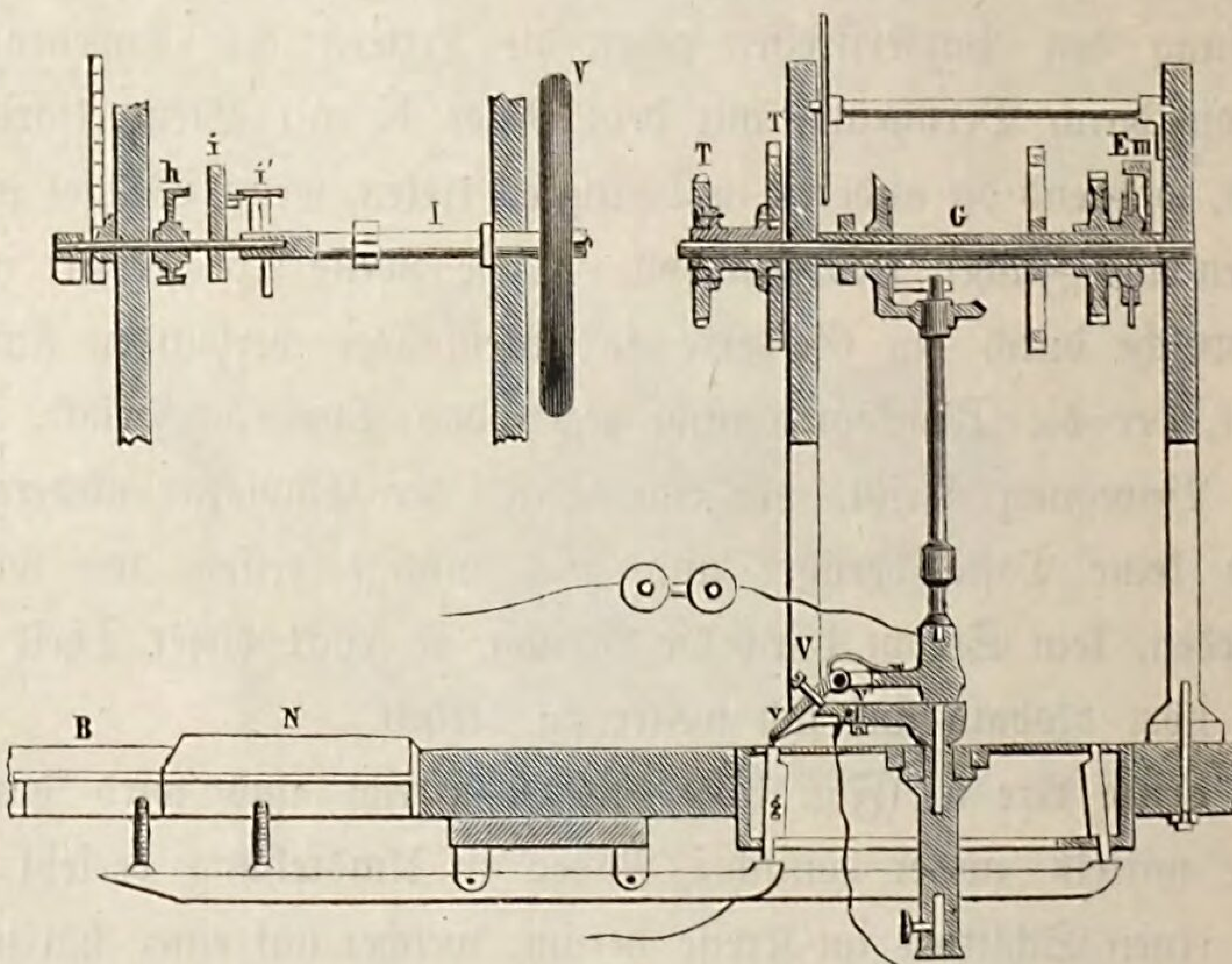


Fig. 341. Mechanismus der Tasten und der Stromunterbrechung.

entsprechende Stäbchen g aus der Scheibe herausgehoben wird, so muß der bewegliche Theil des Schlittens v, sowie er bei der Umdrehung an die betreffende Stelle kommt, über die abgeschrägte Seite des Stäbchens hinaufgleiten und infolge dessen die Schraube V von dem Ansatze v' abheben. Dadurch wird die Leitung nach der Erde unterbrochen und der Strom geht durch die Axe zu den Elektromagneten der Anfangs- und der Endstation und bewirkt, daß an beiden Stellen die Druckaxe eingerückt wird, sodaß nun der Papierstreifen gegen den Buchstaben gedrückt wird, welcher sich ihm gegenüber befindet und welcher mit dem Buchstaben der niedergedrückten Taste übereinstimmt.

Nachdem wir nun gesehen haben, durch welche Mittel der Strom ausgesendet wird, sobald der rotierende Hebel an dem Stifte angelangt

ist, welcher durch Niederdrücken der entsprechenden Taste gehoben ist, wollen wir den Weg desselben nunmehr weiter verfolgen. Stelle in Fig. 342 die Zeichnung auf der linken Seite die Anfangsstation, die auf der rechten Seite, die Endstation dar, so können wir den Weg des Stromes leicht verfolgen, wenn wir die Pfeile beachten, die sich neben den Leitungen befinden: wir sehen, daß der Strom zunächst den Elektromagneten E der Anfangsstation umkreisen muß, bevor er bei L′ in die Leitung nach der Endstation übergeht. Die Elektromagneten sind bei diesen Telegraphen anders eingerichtet, als bei den bisher besprochenen

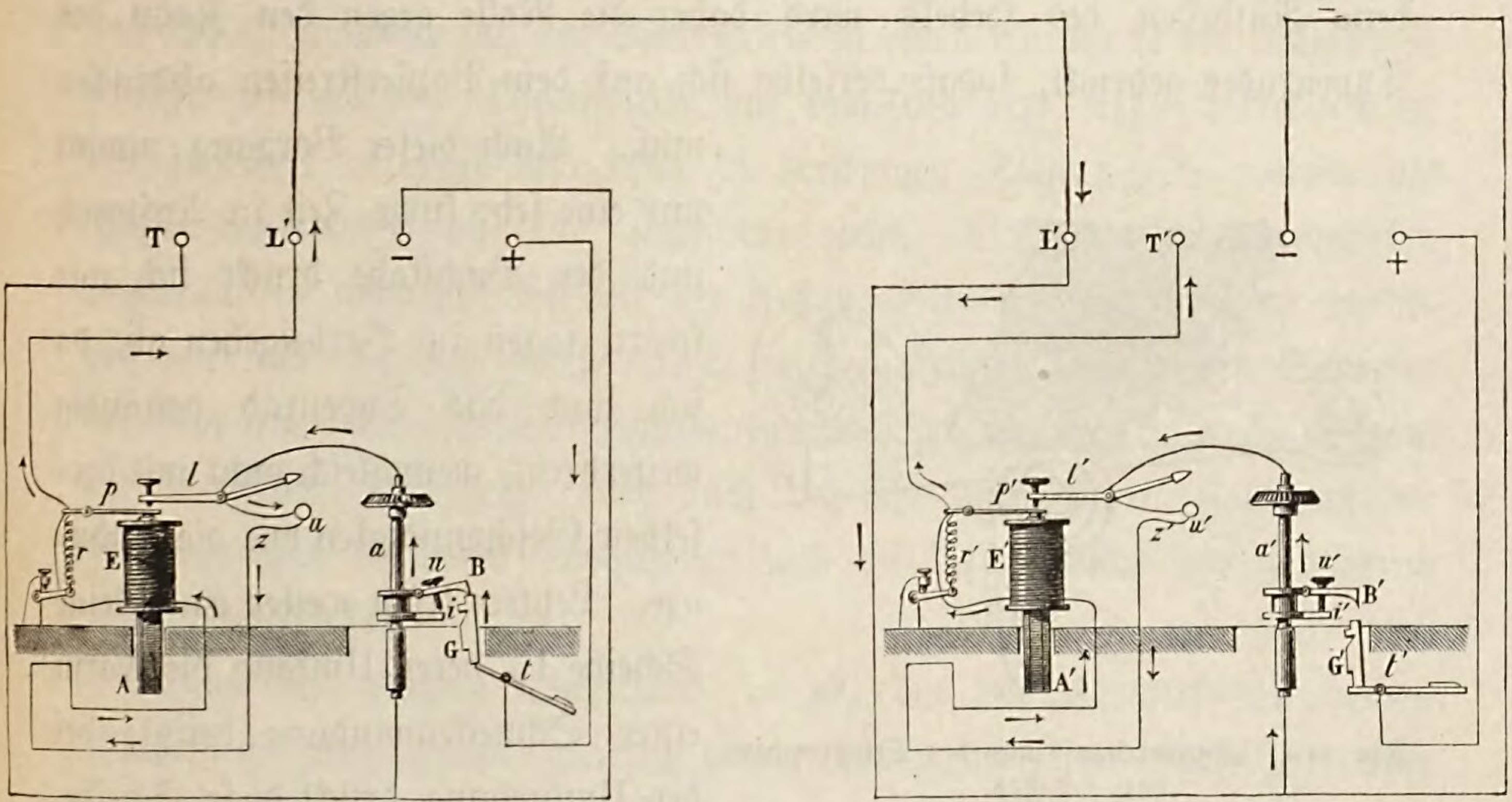


Fig. 342. Weg des Stromes beim Telegraphen von Hughes.

Apparaten: es befindet sich nämlich bei ihnen unterhalb der Eisenkerne E (Fig. 342), welche die Drahtrollen tragen, ein starker Hufeisenmagnet A aus Stahl, dessen Magnetismus dauernd ist, sodaß auch die Eisenkerne, so lange kein Strom um sie circuliert, infolge der Berührung mit demselben ebenfalls beständig magnetisch sind und den Anker anziehen. Man läßt nun die Ströme sich stets so bewegen, daß sie dem Magnetismus des Stahlmagneten entgegenwirken und den Einfluß desselben aufheben: langt also ein Strom an, so verlieren die Eisenkerne ihren Magnetismus und die Spiralfeder r gewinnt Macht mit Hilfe des Hebels p den an l befestigten Anker zu entfernen. Bei dieser Bewegung rückt der Hebel l den Theil der Zahnaxe ein, welcher für gewöhnlich sich in Ruhe befindet,

sodaß derselbe nunmehr zugleich mit in Umdrehung versetzt wird; sobald aber ein Umlauf vollendet ist, so läßt auch schon wieder das Gesperre los und die Axe kommt wieder zur Ruhe.

Sehen wir nun weiter, in welcher Weise die Axe bei ihrer Umdrehung bewirkt, daß sich der Buchstabe, welcher sich am Typenrade dem Papierstreifen gegenüber befindet, auf letzterem abdruckt. Zu diesem Zwecke trägt die Axe o einen spitzen Zahn p (Fig. 343), welcher bei jeder Umdrehung sich gegen den Zahn b des Hebels a b T stemmt und ihn aufhebt; an diesem Hebel ist auch die Rolle M befestigt, über welche der Papierstreif hinweggeht, wie man aus Fig. 340 ersehen kann, und beim Aufheben des Hebels wird daher die Rolle gegen den Zahn des Typenrades gedrückt, sodaß derselbe sich auf dem Papierstreifen abdrucken muß. Auch dieser Vorgang nimmt nur eine sehr kurze Zeit in Anspruch und der Buchstabe druckt sich nur so zu sagen im Vorbeigehen ab, da sich auch das Typenrad beständig weiterdreht, wenngleich nicht mit derselben Geschwindigkeit wie die Zahnaxe. Letztere trägt weiter eine kleine Scheibe L, deren Umfang die Form einer Schneckenwindung besitzt: bei der Umdrehung drückt diese Scheibe, wenn ihr breitester Theil nach

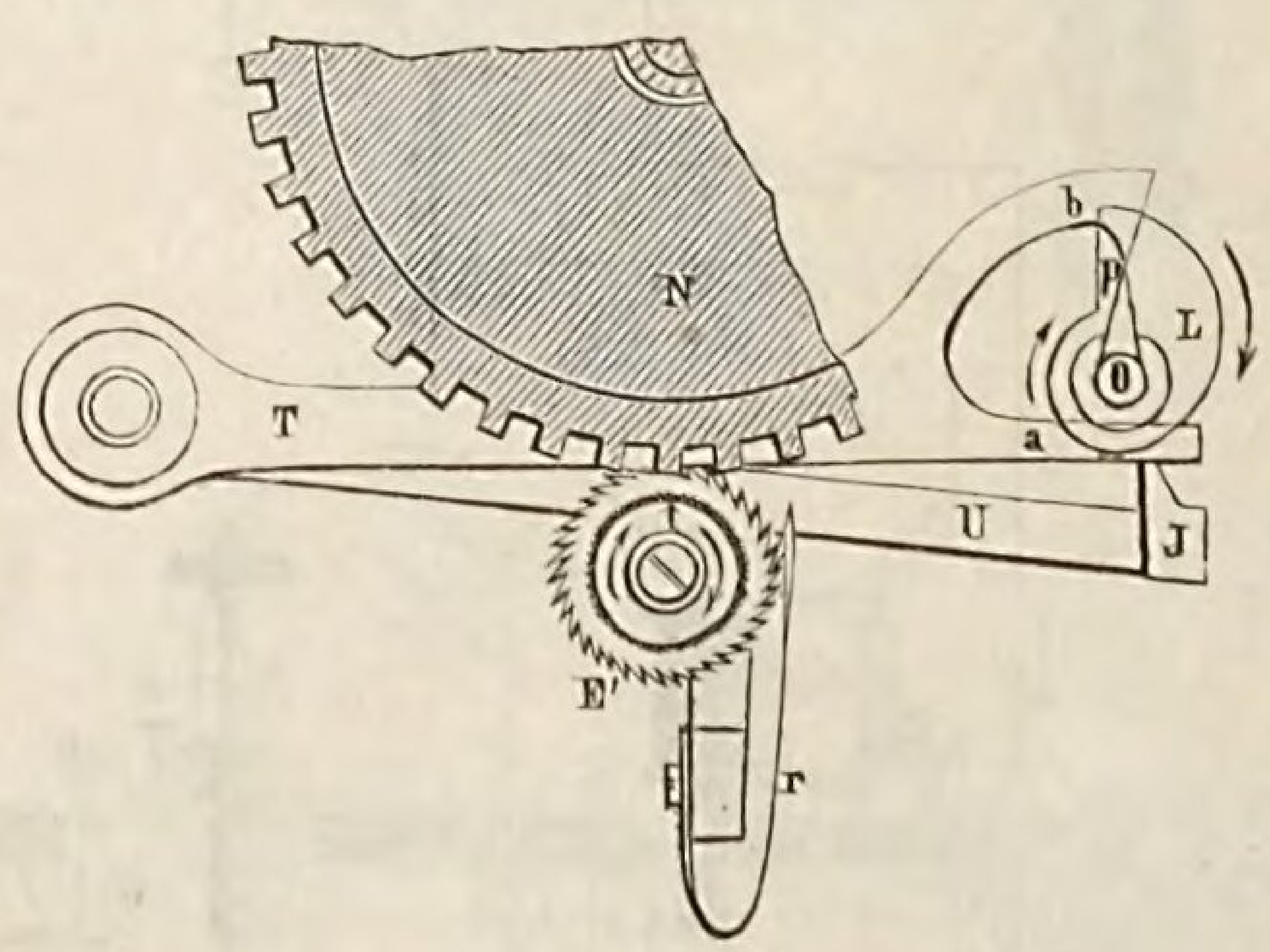


Fig. 343. Druckmechanismus des Telegraphen von Hughes.

Unten gerichtet ist, gegen den Hebel I U und schiebt dabei mittels eines an demselben befestigten Sperrhakens r das Steigrad E' um einen Zahn weiter, wodurch der Papierstreifen um die Breite eines Buchstaben fortgeschoben wird. Sobald also der rotierende Schlitten V (Fig. 341) an dem Stäbchen g angelangt ist, das durch Niederdrücken einer Taste gehoben ist, geht ein kurzer elektrischer Strom durch die Drähte der Linie und bewirkt, daß sowohl an der Anfangs-, als auch an der Endstation die Zahnaxe in Umdrehung versetzt wird: dadurch wird der Papierstreif für einen Augenblick gegen den Buchstaben gedrückt, welcher ihm gerade gegenüber steht und welcher bei richtiger Regulierung der Uhrwerke mit dem Buchstaben der Taste überein stimmt; unmittelbar darauf aber wird auch der Papierstreif weiter gerückt. Sobald der

Schlitten den Kopf des Stäbchens verlassen hat, wird der Anker wieder angezogen und die Bewegung der Zahnaxe unterbrochen.

Man sieht aus Fig. 340, daß am Typenrade T an der einen Stelle ein Zahn fehlt: liegt der Papierstreifen dieser Stelle gegenüber und wird er durch den Hebel gehoben, so wird sich nichts auf ihm abdrucken; gleichwohl wird er durch das Steigrad weitergeschoben und es wird mithin zwischen dem vorhergehenden und dem folgenden Buchstaben die Lücke entstehen, welche das Ende des Wortes erkennen läßt. Auch vor Beginn des Telegraphierens muß das Rad in diese Stellung gebracht werden, und dies geschieht durch einen Druck auf den Knopf Q (Fig. 339 und 340), wodurch sich ein Sperrhaken in einen Einschnitt der Scheibe T′ einlegt, die mit der Typenscheibe auf derselben Axe sitzt. Hierdurch ist das Uhrwerk arretiert und zwar in derjenigen Stellung, in welcher der Papierstreif der Zahnlücke gegenüber steht. Soll das Telegraphieren beginnen, so wird zunächst auf der Anfangsstation dieses Gesperre wieder gehoben und die eine weiße Taste niedergedrückt: sobald der Schlitten bei dem mit dieser Taste verbundenen Stäbchen anlangt und der Strom in die Leitung übergeht, wird auch daselbst durch einen Zahn an der Zahnaxe das Gesperre ausgehoben und die Axe, welche das Typenrad trägt, freigelassen.

Von der größten Wichtigkeit ist es, daß die Uhrwerke an beiden Stationen ganz genau gleichen Gang haben und man muß sich daher jedesmal überzeugen ob diese Bedingung erfüllt ist, bevor die Absendung der eigentlichen Depesche beginnt. Es geschieht dies dadurch, daß man mehrmals nach einander dieselbe Taste niederdrückt: erscheint dann auch auf der anderen Station immer wieder derselbe Buchstabe auf dem Papiere, so ist der Gang ein gleichmäßiger; anderenfalls muß der Gang beschleunigt oder verzögert werden, je nachdem vorhergehende oder folgende Buchstaben erscheinen, und zwar geschieht dies durch Windflügel oder conische Pendel.

Das Typenrad rotiert mit ziemlich bedeutender Geschwindigkeit, denn es macht in der Sekunde zwei bis drei volle Umdrehungen: bei jeder Umdrehung kann mindestens ein Buchstabe übermittelt werden, und es ist daher Beamten, welche sich in der Behandlung der Claviatur einige Geschicklichkeit erworben haben, möglich viel schneller die Depeschen abzugeben als mit dem Morse'schen Telegraphen; während mit letzterem

höchstens zwölf bis funfzehn Worte in der Minute gegeben werden können, steigert sich die Zahl derselben beim Telegraphen von Hughes auf dreißig bis vierzig.

§. 6. Die Pantelegraphen.

So wie der elektrische Strom das Wasser in seine Bestandtheile, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt, wenn er durch dasselbe geleitet wird, so bringt er auch in anderen chemisch zusammengesetzten Stoffen ähnliche Wirkungen hervor: tränkt man z. B. Papier mit einer Lösung von Jodkalium und läßt man an irgend einer Stelle einen Strom durch dasselbe hindurch gehen, so nimmt diese Stelle eine tiefbraune Färbung an; setzt man zu der Lösung noch Stärkemehl, so zeigt sich an der vom Strom getroffenen Stelle blaue Farbe. Auch Cyanverbindungen verhalten sich in ähnlicher Weise, sodaß es möglich ist Papiere herzustellen, auf denen überall da, wo sie von einem elektrischen Strome getroffen werden, Ausscheidungen erfolgen, die im Wesentlichen mit dem Stoffe übereinstimmen, der als Farbstoff unter dem Namen Berliner Blau in den Handel kommt. Bereits im Jahre 1851 suchte Bain diese Erscheinung zu einer Verbesserung des Morse'schen Telegraphen zu benutzen, indem er den Schreibstift mit dem Pole der Localbatterie in Verbindung setzte und den Papierstreifen mit einer gegen den Strom empfindlichen Lösung tränkte, sodaß jedesmal beim Anziehen des Ankers der Stromkreis geschlossen wurde und die Zersetzung im Papiere erfolgte. Diese Anordnung gewährte den Vortheil, daß der Schreibstift den Papierstreifen nicht in eine Furche der Rolle hineinzupressen brauchte, und daß mithin auch eine viel geringere Kraft für die Bewegung des Schreibhebels erforderlich war: andererseits aber gelang es nur schwer dem Papiere den richtigen Grad von Feuchtigkeit zu geben und zu erhalten; denn, war der Papierstreifen zu feucht, so zerriß er leicht und die Zeichen flossen auch ineinander, war er zu trocken, so wurde der Strom nicht durch ihn hindurchgeleitet und gab kein Zeichen. Besonders aus dem zuletzt angeführten Grunde wurde dieses System bei den Morsetelegraphen wieder verlassen, kam aber später wieder zur Anwendung bei einer neuen Art von Apparaten, die man mit dem Namen der Pantelegraphen oder der autographischen Telegraphen be-

zeichnet und von denen wir jetzt diejenigen besprechen wollen, welche sich in der Praxis bewährt haben.

Auch die Pantelegraphen sind als Schreibtelegraphen zu bezeichnen, nur kommen bei ihnen nicht neue Zeichen für die Buchstaben oder ein neues Alphabet zur Anwendung, sondern sie liefern von jeder beliebigen Schrift, von jeder Zeichnung in der Form eine getreue Nachbildung, ein Facsimile, sodaß sich durch ihre Vermittelung nicht allein irgend welche Worte, irgend welche Nachricht oder Rede in die Ferne befördern läßt, sondern daß sich sogar Unterschriften, sowie Zeichnungen, Karten, Pläne übertragen lassen. Bei Anwendung dieser Instrumente erhält derjenige,

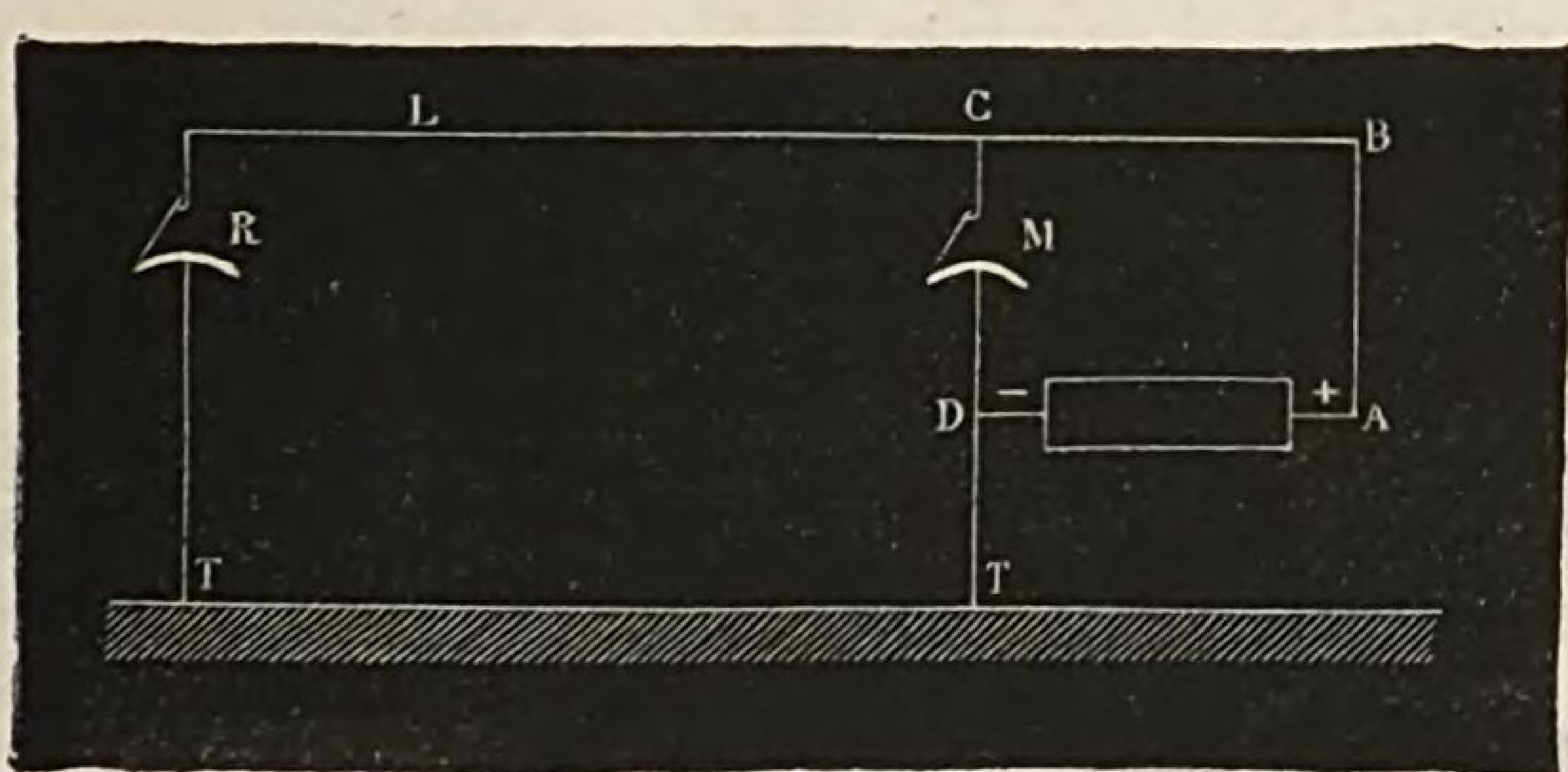


Fig. 344. Schematische Darstellung des Pantelegraphen von Caselli.

für den die Depesche bestimmt ist, ein wirkliches Autograph des Absenders, welches sogar vorkommenden Falles als Document gebraucht werden kann, da sich die Handschrift des Auftraggebers recognoscieren läßt. In wie einfacher Weise diese Aufgabe, die auf den ersten Blick etwas ganz Unmögliches zu verlangen scheint, gelöst worden ist, wollen wir jetzt beispielsweise am Pantelegraphen von Caselli kennen lernen. Wir finden bei demselben sowohl auf der Abgangs- als auf der Empfangsstation gebogene Kupferplatten M und R (Fig. 344) aufgestellt, welche bei T zur Erde abgeleitet sind. Auf der Platte M der Abgangsstation liegt ein Blatt von einer Papiersorte, die mit einem Metallüberzuge versehen ist, sogenanntem Schabinpapiere, und auf dieses Papier ist die zu befördernde Depesche oder die zu übermittelnde Zeichnung mit einer fettigen Tinte aufgetragen, welche den Strom nicht leitet. Die Platte R auf der Empfangsstation wird dagegen mit Papier bedeckt, welches mit einer Lösung von Cyankalium und Eisenchlorid getränkt ist, aus welcher sich unter der Einwirkung des Stromes Berliner Blau ausscheidet. Ueber

beide Platten werden gleichzeitig und mit gleicher Geschwindigkeit zwei kleine eiserne Stifte S und S' hinweggeführt, welche mit der Leitung L und der Batterie AD in der Weise in Verbindung stehen, wie aus Fig. 344 zu ersehen ist: diese Stifte erhalten ihre Bewegung, wie wir später besprechen werden, durch Uhrwerke, welche sie genau gleichzeitig in parallelen Linien über die Platte bewegen; sind sie an das Ende der Platte gelangt, so werden letztere durch einen Mechanismus um gleiche und sehr kleine Strecken in der Richtung rechtwinklig zu den Parallellinien weiter geschoben.

Aus der Anordnung der Leitung, wie sie in Fig. 344 schematisch dargestellt ist, läßt sich nun leicht erkennen, daß der Strom der Haupt-

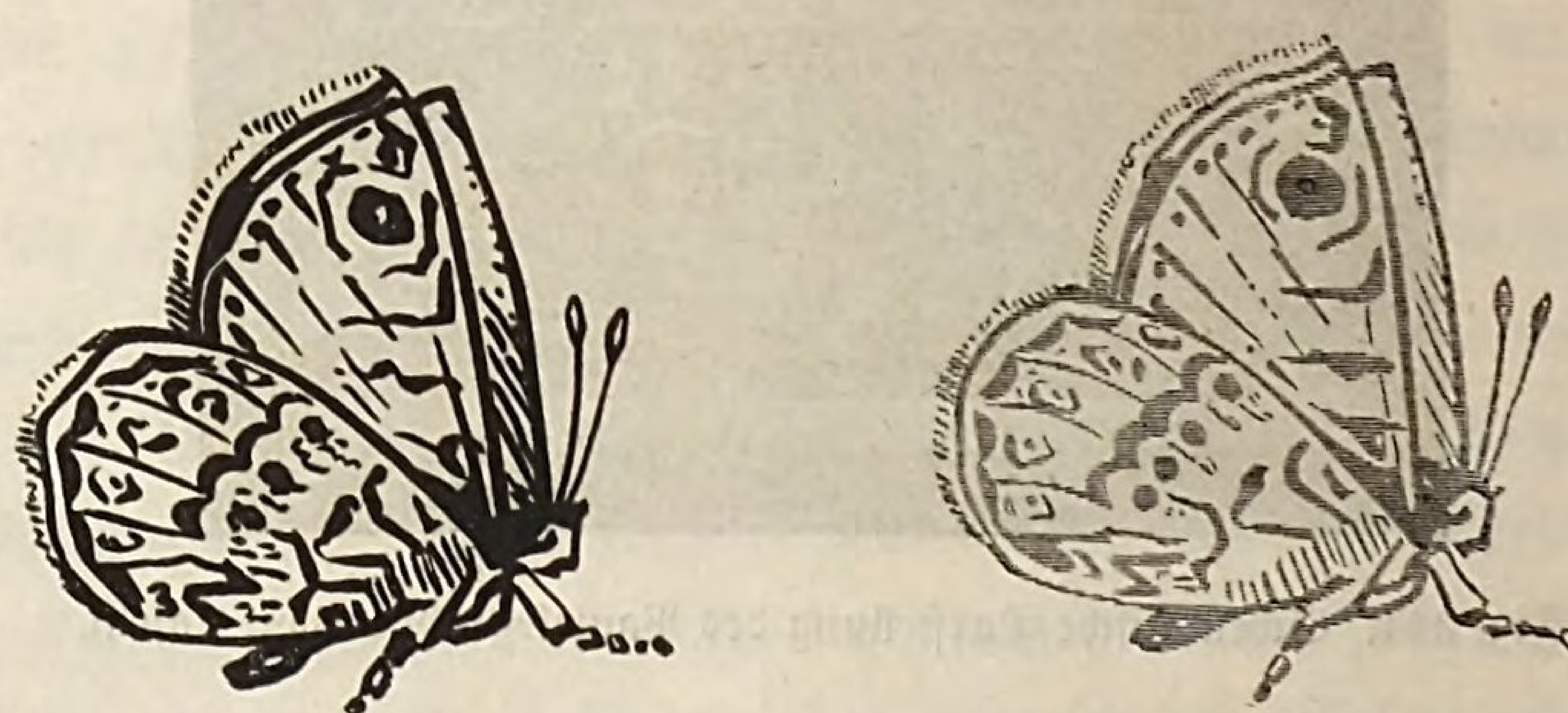


Fig. 345. Original einer Zeichnung und Nachbildung derselben durch Caselli's Pantelegraphen.

sache nach auf dem kurzen Wege über B, C und D zur Batterie zurückkehrt, wenn der Stift S auf einem metallischen Theile der Platte M aufliegt: in diesem Falle wird also aus S' kein Strom ausfließen und der entsprechende Theil des Papieres auf der Platte R bleibt unverändert. Sobald aber S auf einen mit nichtleitender Tinte bedeckten Theil gelangt, so wird die Leitung bei M unterbrochen und der Strom ist gezwungen durch die Leitung L zum Stifte S' und durch diesen zur Platte R überzugehen und durch die Erde zur Batterie zurückzukehren: dadurch aber wird sein Weg auf dem entsprechenden Stücke des Papieres auf R als eine feine blaue Linie erscheinen. Diese Linien setzen sich schließlich zu einem Bilde zusammen, das dem Originale ähnlich ist, nur mit dem Unterschiede, daß sich alle Linien, die im Originale nicht unterbrochen sind, in der Copie aus lauter feinen Strichen zusammensetzen: es ist ähnlich, wie wenn ein Holzschneider den Holzstock durch eine Menge

feiner Streifen durchfurchen und ihn dann abdrucken wollte (Fig. 345). Daraus, daß sich also durch dieses Instrument jede beliebige Schrift und jede beliebige Zeichnung wiedergeben läßt, erklärt sich der Name Pantelegraph, daraus aber, daß die Copie mit dem Originale auch

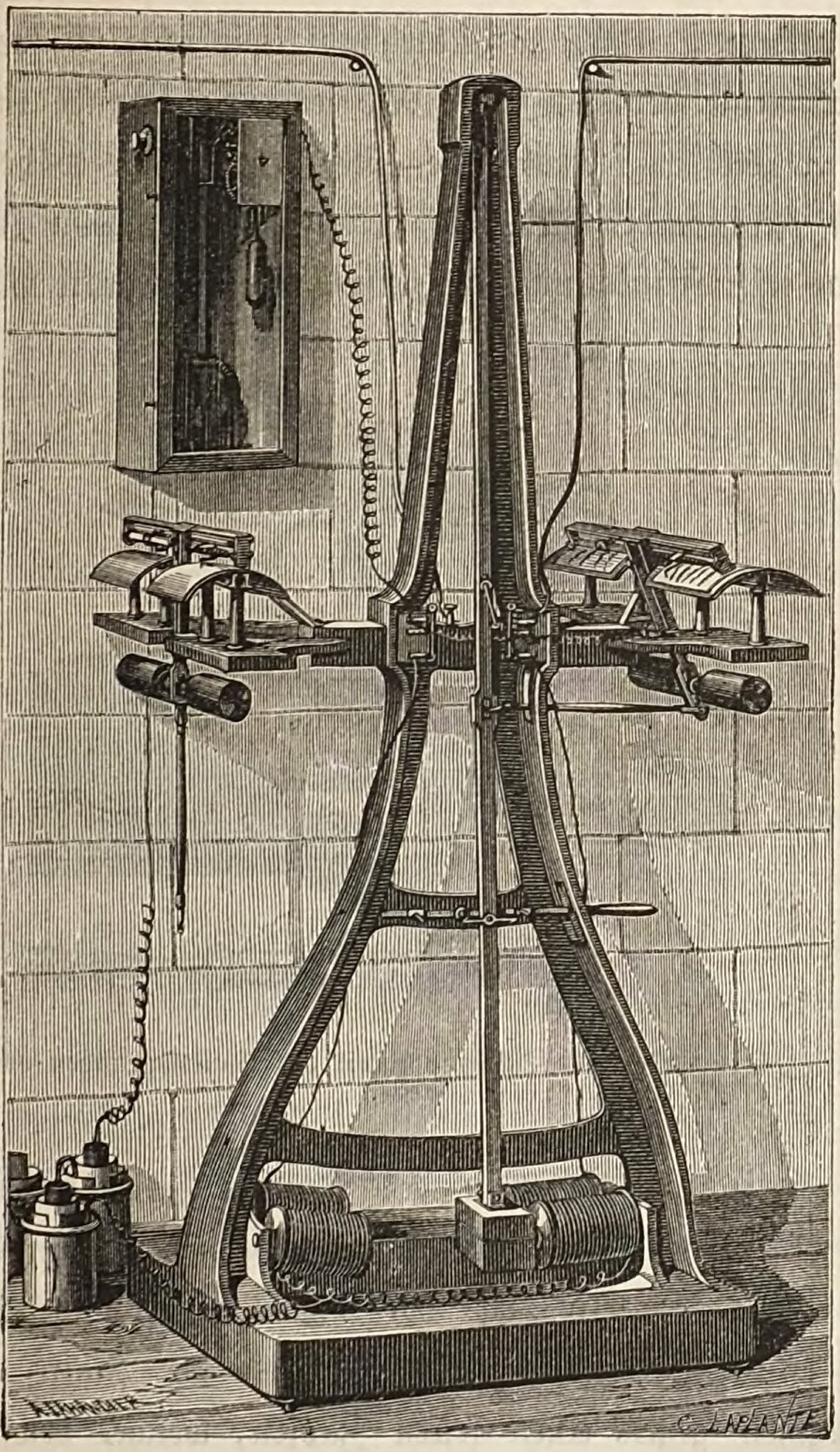


Fig. 346. Pantelegraph von Caselli.

in der Gestalt der Schriftzüge oder gezeichneten Linien übereinstimmt, der Name Autographischer Telegraph.

Die Bewegung eines jeden der beiden Stifte auf der Anfangs- wie auf der Empfangsstation, wird durch ein Pendel von 2 m Länge hervorgerufen, das an einem sehr festen eisernen Gestelle hängt und an Stelle

der Linse einen rechteckigen Eisenblock von 8 Kgr. Gewicht trägt (Fig. 346). In der Mitte der Pendelstange sind zwei Triebstangen mittels Gelenken befestigt, welche dazu dienen, die oscillierende Bewegung des Pendels einerseits auf den Zeichenmacher, andererseits auf den Indicator zu übertragen; soll nur der eine von beiden Apparaten wirken, so wird die andere Triebstange ausgehängt, wie es z. B. bei dem abgebildeten Instrumente der Fall ist. Mit jeder Triebstange ist nun weiter ein Rahmen verbunden, welcher die Stifte trägt, die während der Bewegung beim Zeichengeber über die Originalschrift, beim Indicator dagegen über das mit Cyankalium und Eisenlösung getränkte Papier gleiten,

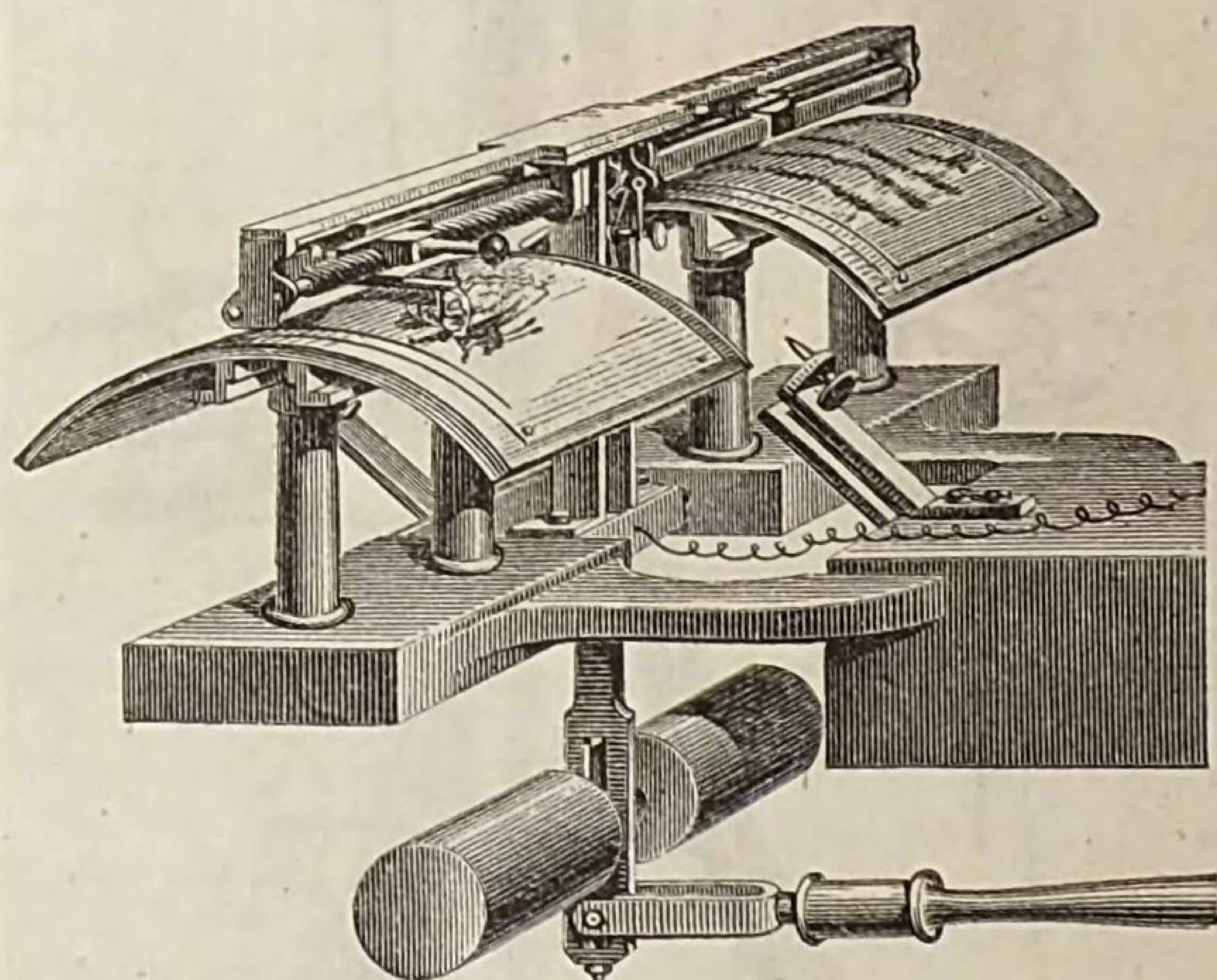


Fig. 347. Zeichenmacher und Schreibapparat des Pantelegraphen von Caselli.

sodaß also bei jeder Oscillation des Pendels jeder dieser Stifte sich längs einer Linie auf einer cylindrisch gebogenen Kupferplatte bewegt, auf welcher das Schabinpapier oder das empfindliche Papier liegt (Fig. 347). Ist der Stift am anderen Ende der Platte angelangt, so stößt der Rahmen gegen einen festen Zapfen, welcher bewirkt, daß sich die Axe, welche den Stift trägt, ein wenig dreht und den Stift in die Höhe hebt, sodaß derselbe beim Rückgange die Platte nicht berührt: ein zweiter fester Zapfen bringt die Axe, wenn der Anfangspunkt erreicht ist, wieder in die ursprüngliche Lage. Man hat diese Einrichtung getroffen, weil man gefunden hat, daß die Wirkungen in beiden Theilen des Weges nicht ganz genau miteinander übereinstimmen, daß nämlich die Striche, die beim Rückgange des Stiftes entstehen, gegen diejenigen, die

beim Hingange verzeichnet sind, ein wenig zur Seite gerückt erscheinen. Um nun aber auch den Rückgang des Rahmens auszunutzen, ist hinter der ersten Kupferplatte noch eine zweite angebracht, auf welcher der Stift schleift, wenn er von der ersten ausgehoben ist, und umgekehrt, wie sowohl aus Fig. 346, als auch aus Fig. 347 zu ersehen ist. Durch diese Einrichtung ist es möglich gleichzeitig zwei Depeschen zu entsenden, oder auch eine Depesche nach der fernen Station zu übermitteln, die andere von derselben entgegen zu nehmen: nur muß in letzterem Falle die Umlegung der Axe zugleich auch bewirken, daß die Verbindung der Localbatterie unterbrochen wird.

Die wesentlichste Bedingung dafür, daß der Apparat wirklich genaue Copien der Originaldepeschen giebt, ist die absolute Uebereinstimmung des Ganges der beiden Pendel auf der Anfangs- und Endstation: dieselben müssen nicht allein ihre Oscillationen in gleichen Zeiträumen vollenden, sondern die Ausschlagswinkel beider müssen auch in jedem Augenblicke von genau gleicher Größe sein, damit sich die Stifte immer gleichzeitig an den entsprechenden Punkten der beiden Platten befinden und mit übereinstimmender Geschwindigkeit weiterbewegen. Um diese Zwecke zu erreichen befinden sich auf beiden Seiten des Pendels an den Stellen, bis zu welchen sich der Eisenblock bei jedem Ausschlage bewegt, starke Elektromagnete, um welche gleichzeitig auf beiden Stationen ein Strom kreist. Dieser Strom wird durch ein Chronometer reguliert, welches in Fig. 346 neben dem Gerüste des Telegraphen auf der linken Seite sichtbar ist und welches doppelt so schnell schwingt als das Pendel des Telegraphen. An dem Pendel des Chronometers ist ein Hebel befestigt, welcher eine Feder niederdrückt, sobald der Ausschlag nach der einen Seite hin erfolgt: durch diese Feder aber wird eine Kette geschlossen, welche die Elektromagnete auf beiden Stationen in Thätigkeit setzt, sodaß dieselben die Eisenblöcke für eine kurze Zeit an sich halten, bis der Strom durch den Zurückgang des Chronometerpendels wieder geöffnet wird. Durch diese Einrichtung wird bewirkt, daß auf beiden Stationen die Telegraphenpendel immer gleich weit ausschlagen und immer gleichzeitig aus der äußersten Lage wieder zurückkehren, indem sie diese Lage in dem Augenblicke verlassen, wenn der durch den Chronometer geschlossene Strom wieder unterbrochen wird.

Das Papier, welches zur Aufnahme der Depeschen an der Endstation

bestimmt ist, muß zwar ziemlich fest, darf aber andrerseits nicht zu dick sein, vor allem aber muß es recht gleichmäßig und glatt sein, damit auch die Linien, welche darauf entstehen, recht gleichmäßig ausfallen: das Tränken mit der Lösung von Cyankalium und Eisen erfordert gleichfalls große Sorgfalt, namentlich ist ihm stets der richtige Grad von Feuchtigkeit zu ertheilen. Was dagegen die Blätter betrifft, auf welche die Depesche mit fetter Tinte aufgeschrieben wird, so bestehen dieselben aus weißem Papiere mit breitem Rande, welchem mittels einer Presse ein Ueberzug von Silber aufgedruckt ist. Der Ausgangspunkt, von welchem der Stift seinen Weg beginnt, ist durch einen Strich markiert, ebenso geben zwei Striche die Grenzen der Depesche an. Die Handhabung von Caselli's Telegraphen ist im Ganzen ziemlich einfach: sobald die Depesche geschrieben ist, wird sie auf die Kupferplatte gelegt und an den Beamten an der Endstation ergeht durch ein Signal die Aufforderung, daß er seinen Apparat zum Empfange bereit halten soll. Sobald hierauf die Rückantwort eingetroffen ist, werden die Pendel gleichzeitig in Gang gesetzt und nun arbeitet der Apparat ohne jede weitere Beihilfe ruhig fort. Da man immer gleichzeitig zwei Depeschen absenden kann und da weiter auch abgekürzte Schriftzeichen, z. B. Stenographie, angewendet werden darf, so läßt sich durch diesen Telegraphen auch eine ziemliche Geschwindigkeit in der Beförderung der Depeschen erzielen. „Die langen Pendel des Telegraphen von Caselli," sagt Quet in den Berichten über die Fortschritte der Elektricität und des Magnetismus, „machen gewöhnlich in der Minute vierzig Schwingungen und die Stifte ziehen dabei in dieser Zeit vierzig Linien, die um $^1/_3$ mm von einander abstehen. In einer Minute rückt also die Schraffierung auf dem Blatt um 13 mm und in zwanzig Minuten um 26 cm weiter. Da die vom Stifte verzeichneten Linien eine Länge von 11 cm haben, so folgt, daß Caselli's Telegraph binnen zwanzig Minuten das Facsimile von Schriften, Porträts oder anderen Zeichnungen liefert, die auf ein metallisches Papier von 11 cm Breite und 26 cm Höhe aufgetragen sind. Soll die Wiedergabe sauber ausfallen, so ist erforderlich, daß die Schrift des Originals sehr leserlich und in nicht zu kleinen Buchstaben ausgeführt ist." Bereits seit dem Jahre 1865 ist Caselli's Pantelegraph auf der Linie zwischen Paris, Lyon und Marseille der Benutzung des Publikums zugänglich gemacht.

Ein anderer Pantelegraph, der nicht ganz auf demselben Principe

beruht wie der von Caselli construierte, der aber auch sehr sicher und mit großer Geschwindigkeit arbeitet und von den Depeschen sehr getreue Nachbildungen liefert, wurde von einem französischen Telegraphenbeamten Namens Meyer erfunden: auch diesen Apparat wollen wir jetzt zum Schlusse einer kurzen Besprechung unterziehen. Der Zeichenmacher besteht beim Pantelegraphen von Meyer (Fig. 348) aus einem Metall-

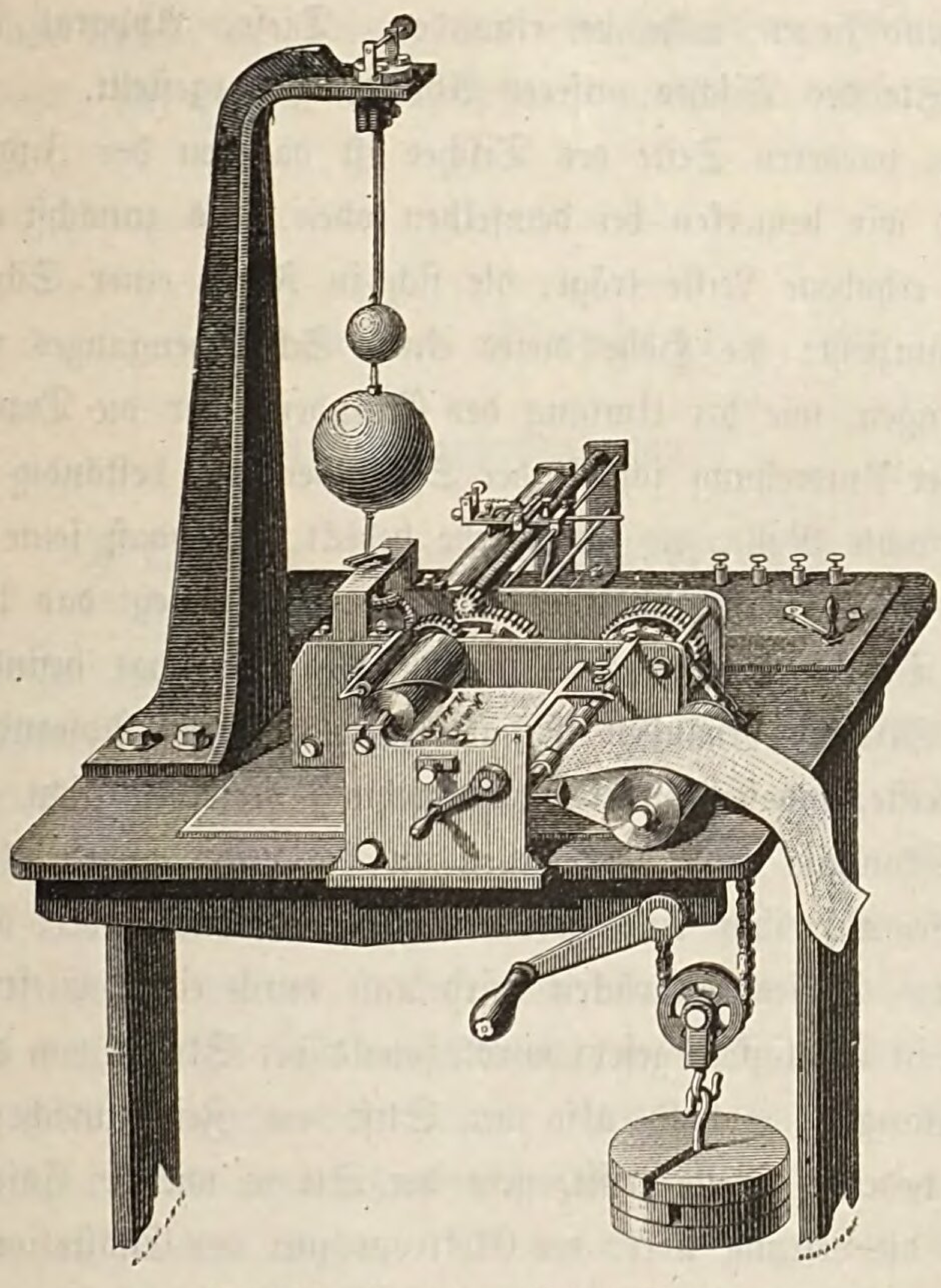


Fig. 348. Pantelegraph von Meyer.

cylinder, um welchen die Depesche, die in derselben Weise geschrieben ist wie beim Pantelegraphen von Caselli, wie eine Hülse befestigt wird. Dieser Cylinder wird durch ein Uhrwerk, dessen Gang durch eine rotierende Kugel geregelt wird, in gleichmäßige Umdrehung versetzt; gleichzeitig führt aber dieses Uhrwerk auch einen Schlitten in der Richtung der Axe des Cylinders längs desselben weiter. An diesem Schlitten ist nun der Stift befestigt, welcher über die Depesche hinweggleitet und

den galvanischen Strom in derselben Weise schließt und unterbricht, wie bei dem zuvor besprochenen Telegraphen; infolge der combinierten Bewegung des Schlittens und des Cylinders muß der Stift auf letzterem eine Schraubenlinie beschreiben, deren Gänge um die Strecke von einander abstehen, um welche der Schlitten sich weiter schiebt, während der Cylinder einen Umlauf macht. Diese Strecke ist aber im Verhältnisse zum Umfange des Cylinders ziemlich klein und mithin sind die Schraubengänge sehr flach und liegen nahe bei einander. Dieser Apparat ist auf der hinteren Seite des Tisches unserer Abbildung dargestellt.

Auf der vorderen Seite des Tisches ist dagegen der Indicator aufgestellt, und wir bemerken bei demselben oben links zunächst eine Walze, welche eine erhobene Leiste trägt, die sich in Form einer Schraubenlinie um sie herumzieht: die Höhe dieses einen Schraubenganges muß genau so viel betragen, wie der Umfang des Cylinders, der die Depesche trägt. Während der Umdrehung schleift der Schraubengang beständig gegen eine oben angebrachte Rolle, die mit Farbe bedeckt ist, sodaß seine Oberfläche auch immer neue Farbe erhält. Unter der Walze liegt das Papier, auf welches die Depesche aufgezeichnet werden soll, und zwar befindet es sich, wenn kein Strom vorhanden ist, in einem geringen Abstande von der erhobenen Leiste, sodaß es bei der Umdrehung derselben nicht mit ihr in Berührung kommt: wird es dagegen an die Leiste angedrückt, so verzeichnet diese auf ihm eine gerade Linie, die quer über das Papier herüberreicht. Dieses Andrücken wird nun durch einen Elektromagneten bewirkt, der in Thätigkeit gesetzt wird, sobald der Strom von der nächsten Station anlangt. Sobald also der Stift im Zeichenmacher auf eine mit Tinte bedeckte Stelle trifft, geht der Strom wie bei Caselli's Telegraphen in die Leitung über, der Elektromagnet der Endstation zieht den Anker an und drückt das Papier gegen die erhabene Leiste, welche nun bei ihrer Umdrehung so lange einen geraden Strich auf demselben verzeichnet, bis nach Unterbrechung des Stromes der Anker wieder zurückgeht. Durch einen einfachen Mechanismus wird weiter nach jeder Umdrehung der Walze das Papier um dieselbe Größe weiter gerückt, wie der Schlitten, welcher den Stift im Zeichenmacher trägt: jede Linie, welche in der Originaldepesche einmal um den Umfang des Cylinders herumläuft, wird also auf dem Papiere der Endstation als Querlinie facsimiliert, sodaß diese Linien in ihrer Gesammtheit ein dem Originale ähnliches Bild darstellen.

Auch bei Meyer's Pantelegraphen, ebenso wie bei dem von Caselli erfundenen, besteht die Hauptsache darin, daß den Uhrwerken auf beiden Stationen ganz genau gleicher Gang ertheilt wird und daß sie auch die Bewegung genau gleichzeitig beginnen. Caselli's Telegraph ist, wie man sieht, aus Bain's elektro-chemischen Telegraphen durch Einführung eines Mechanismus, der durch elektromagnetische Nebenapparate gleichmäßige Bewegungen an beiden Stationen hervorruft, hervorgegangen: Meyer hat dagen das Caselli'sche Princip mit mancherlei Vorrichtungen in Verbindung gesetzt, die er dem Telegraphen von Morse und Hughes entnommen hat.

Viertes Kapitel.

Die Telegraphenlinien.

§ 1. Die Telegraphenleitungen.

Bis hierher haben wir uns nur mit denjenigen Apparaten beschäftigt, die dazu bestimmt sind, die telegraphischen Zeichen abzugeben oder entgegenzunehmen: nunmehr aber müssen wir weiter nach den Leitungen fragen, durch welche die elektrischen Ströme, auf deren Wirkung die elektrische Telegraphie ihrem ganzen Wesen nach beruht, von einem Orte zum andern geleitet werden. Auf den Landlinien ist jetzt noch das System der Luftlinien fast ausschließlich im Gebrauche: bei demselben werden die Drähte, welche den Strom führen sollen, an hohen Holzsäulen befestigt, welche in bestimmten Abständen von einander längs der ganzen Linie aufgerichtet werden. In den ersten Jahren der Anwendung dieses Verkehrsmittels glaubte man, daß es nöthig sei für jeden Strom zwei Drähte auszuspannen: den einen, auf welchem er von der Anfangs- zur Endstation hinging, den andern, auf welchem er wieder zurückkehrt; allein schon im Jahre 1837 hat Steinheil in München durch Versuche nachgewiesen, daß sich an Stelle des einen Drahtes die Erde als Leitung benutzen läßt. Man spannt also jetzt bei allen Systemen für jeden Apparat zwischen den beiden Stationen nur einen einzigen Leitungsdraht aus und verbindet den zweiten Poldraht der Batterie einerseits und den Fortleitungsdraht andererseits mit Leitungen, die zu einer Metallplatte

führen, welche in die wasserführende Erdschicht, von der wir bei Gelegenheit der Blitzableiter sprachen, eingesenkt ist: diese Anordnung zeigt sich in gleicher Weise als anwendbar, mag man den Strom durch den Draht entsenden und durch die Erde zurückkehren lassen, oder mag man ihn in umgekehrter Richtung verlaufen lassen.

Anfangs verfertigte man die Leitungen aus Kupferdraht von etwa 2 mm Dicke, weil Kupfer unter allen Metallen mit einziger Ausnahme des Silbers, von dem man natürlich absehen muß, die Elektricität am besten leitet: allein abgesehen davon, daß das Kupfer immer ziemlich hoch im Preise steht, besitzt es auch noch die üble Eigenschaft, daß es unter dem Einflusse der wechselnden Witterung, welcher es ausgesetzt ist, schließlich seine Elasticität verliert und brüchig wird. Aus diesen Gründen hat man die Verwendung des Kupfers zu Leitungsdrähten wieder aufgegeben und benutzt jetzt an dessen Stelle Drähte aus geglühtem Eisen, denen man eine Dicke von 3—4 mm giebt: dieselben sind wesentlich billiger und zugleich auch haltbarer als die Kupferdrähte, setzen aber dem elektrischen Strome einen größeren Widerstand entgegen. Für lange Linien, bei denen es darauf ankommt, daß der Strom an jedem Punkte möglichst wenig Widerstand finde um nicht in zu hohem Grade geschwächt zu werden, wendet man sogar Drähte von 6 mm Dicke und mehr an, und besonders in England sind dieselben auf einigen Linien eingeführt worden. Um das Eisen vor dem Rosten zu schützen, wird es einem Verfahren unterworfen, welches man, wiewohl nicht ganz richtig, als Galvanisierung bezeichnet: man setzt die Drähte zunächst kurze Zeit der Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure aus, welche allen Rost hinweg nimmt und die Oberfläche blank beizt, und überzieht sie dann mit einer dünnen Schicht von Zink. Wenngleich nun Letzteres sich an der Luft mit einer dünnen Oxydschicht überzieht, so bringt dies doch keinen weiteren Nachtheil, weil die Schicht selbst, deren Löslichkeit im Wasser sehr unbedeutend ist, die unter ihr liegenden Metallschichten schützt: und sogar in dem Falle, daß an einer Stelle das Eisen bloßgelegt ist, wird doch ein Verrosten daselbst nicht zu befürchten sein, weil sofort in jeder Wasserschicht, die sich darauf niederschlägt, durch die Berührung der Metalle und des Wassers ein galvanischer Strom hervorgerufen wird, der im Wasser vom Zink zum Eisen hinüber geht und bewirkt, daß sich am Eisen Wasserstoff ausscheidet.

Die Holzsäulen, welche im Freien die Telegraphenleitungen tragen, sind zwar selbst genügende Isolatoren für den galvanischen Strom, so lange sie vollständig trocken sind, wenn aber Regenwetter eintritt, oder wenn sich des Morgens der Thau auf ihnen niederschlägt, so würden sie für die Elektricität eine bequeme Leitung bilden, sodaß der Strom auf kürzestem Wege durch die Erde zur Batterie zurückkehren würde, ohne zuvor die ferne Station zu erreichen. Um dies zu verhindern, bringt man an den Säulen Glocken aus Porzellan oder Glas an, an welchen die Drähte befestigt werden, wie deren beispielsweise zwei in Fig. 349 dargestellt sind: wir bemerken daselbst, wie von den Glocken eiserne Stäbe mit Oesen herabreichen, durch welche der Draht hindurchgezogen ist; bei anderen Modellen wird der Draht oberhalb um die Glocke herum gewickelt. Etwas stärker müssen noch diejenigen Glocken gebaut sein, bei welchen sich der Draht unter einem Winkel in eine andere Richtung umbiegt, weil dieselben der sehr starken Spannung des Drahtes einen sehr bedeutenden Widerstand entgegen setzen müssen. Um die Säulen vor Fäulniß zu schützen, hat man verschiedene Mittel angewendet, so hat man z. B. wiederholt den Versuch gemacht, sie mit einer Lösung von Kupfervitriol zu tränken, ein Verfahren, das zwar etwas kostspielig ist, sich aber trotzdem empfiehlt, indem der Schutz, den es gewährt, die Säulen lange Zeit in gutem Zustande erhält. Weiter hat man versucht an Stelle der Holzsäulen eiserne Träger zu verwenden und hat zu diesem Zwecke vielfach z. B. Eisenbahnschienen, welche als solche nicht mehr zu gebrauchen waren, verwendet, und auch dies hat zu günstigen Resultaten geführt.

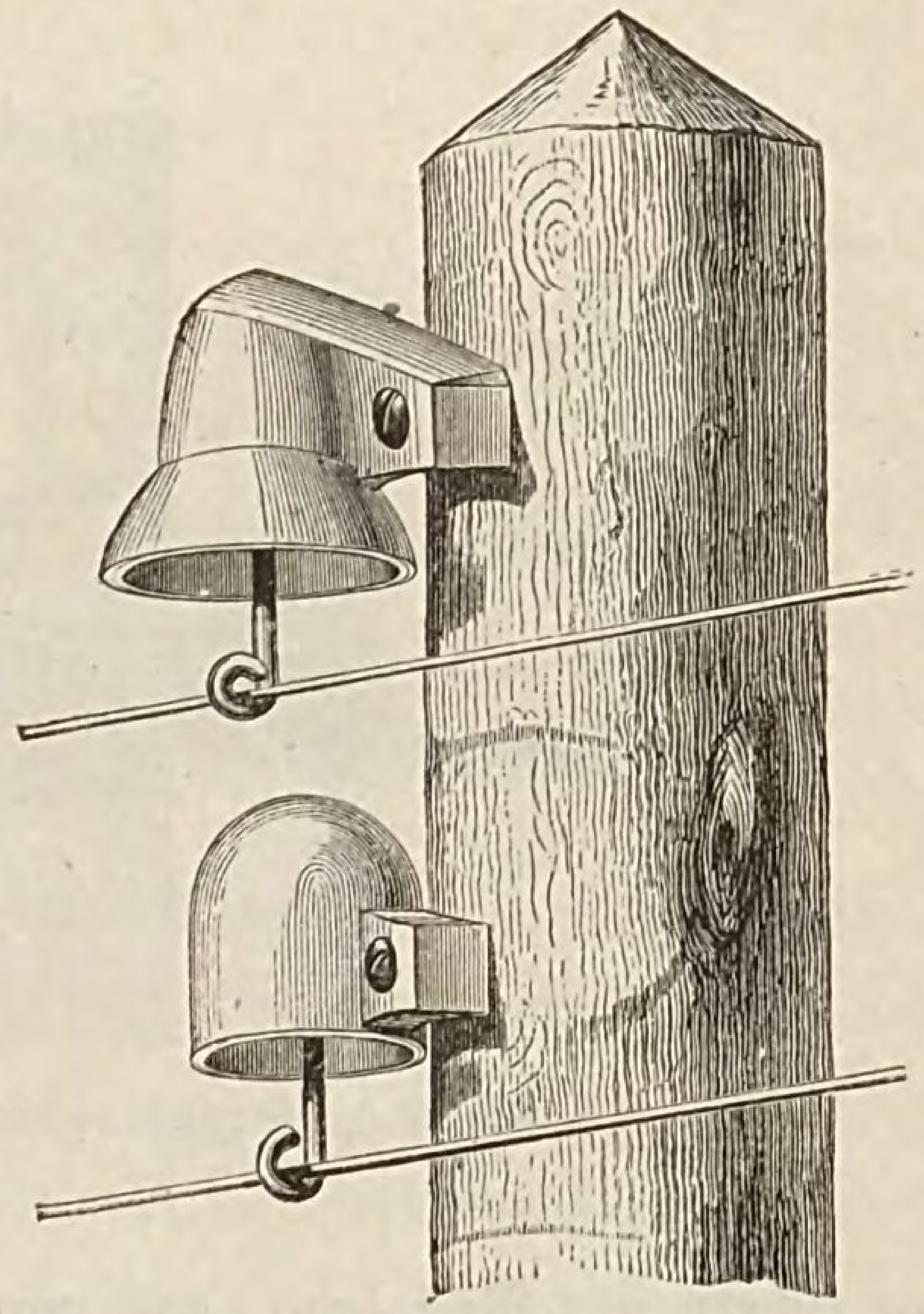


Fig. 349. Isolatoren der Telegraphendrähte.

Die Säulen, welche den Drähten als Stütze dienen, werden gewöhnlich in Abständen von 100 Meter von einander errichtet: wo die Leitung aber eine Biegung macht, wie an den Curven der Eisenbahnen, muß

der Zwischenraum wesentlich verringert werden; wo sich dagegen die Leitung in ein Thal hinabsenkt, kann man die Träger weiter von einander entfernen. Die Höhe der Säulen nimmt man gewöhnlich zu 8—10 m, doch muß man da, wo die Leitung über eine Straße, eine Eisenbahn, einen Fluß, oder über irgend eine andere Stelle hinweggeführt ist, wo sich größere Körper unter ihr hinwegbewegen sollen, die Höhe je nach Bedürfniß bedeutend vergrößern. In den Städten befestigt man die isolierenden Glocken häufig an den Häusern oder an Stangen, die an dem Dachstuhle befestigt sind: in den Großstädten dagegen, in denen der Straßenverkehr sehr lebhaft ist, zieht man vor die Leitung unterirdisch

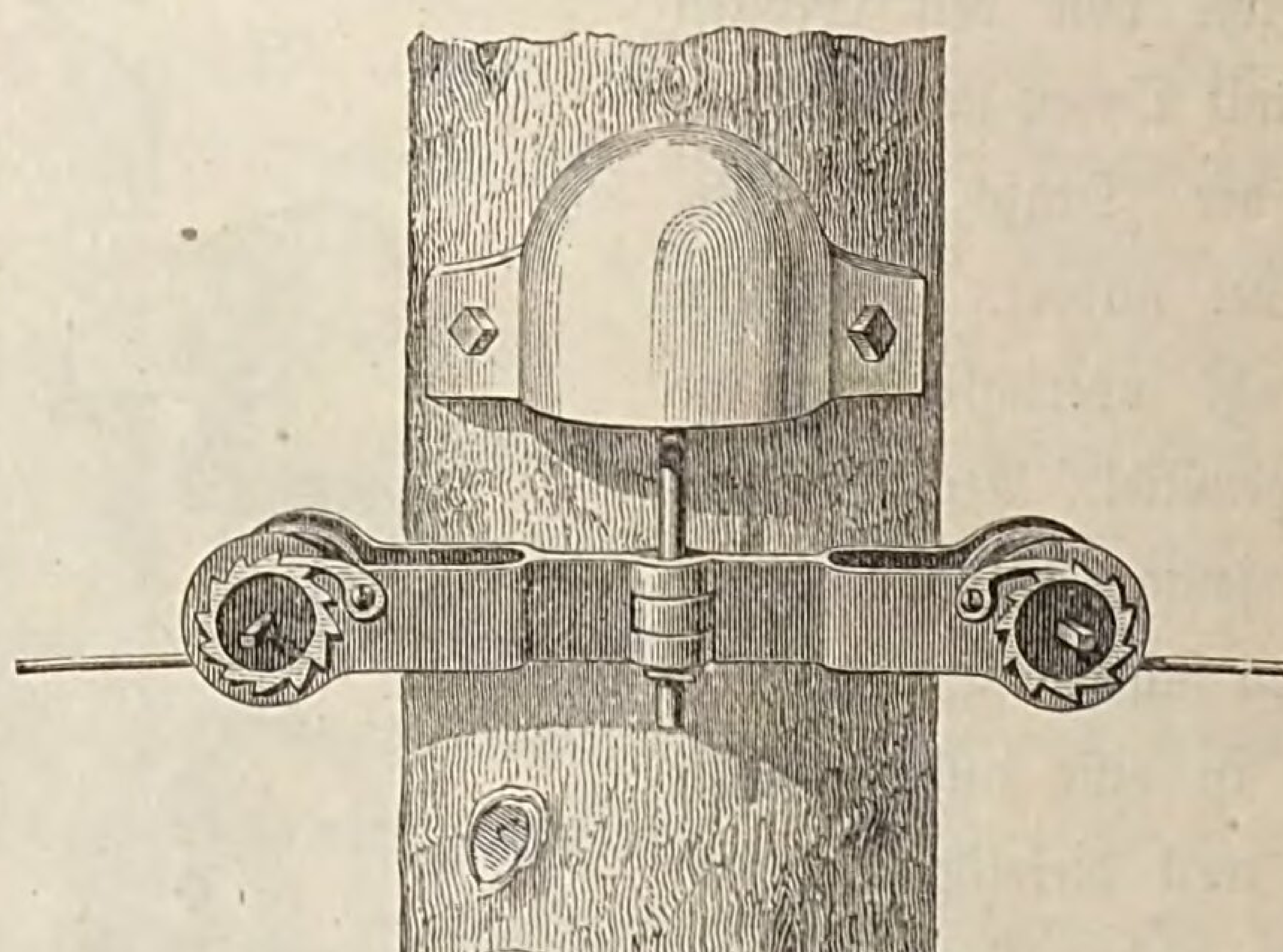


Fig. 350. Spannvorrichtung für den Telegraphendraht.

zu führen, ein Verfahren, das man auch gern anwendet, wenn die Leitung durch einen Tunnel hindurchgehen muß, weil dort die Glocken leicht durch die beständig vorhandene Feuchtigkeit beschlagen und Nebenleitungen für den Strom bilden würden. Jede Holzsäule trägt gewöhnlich mehrere Leitungsdrähte, die in einem Abstande von mindestens 25—30 cm über einander angebracht sind, damit sie nicht etwa, wenn der eine vielleicht nicht straff genug gespannt wäre, mit einander in Berührung kommen können; diese Drähte befinden sich abwechselnd auf beiden Seiten der Säulen: denn, wollte man sie alle auf derselben Seite anbringen, so würden sie durch ihr großes Gewicht und ihre starke Spannung das Umstürzen der Säulen herbeiführen können. In bestimmten Abständen, vielleicht von ungefähr einem Kilometer, befinden sich an den Säulen an Stelle der einfachen Glocken Spannvorrichtungen, durch welche der

Draht mit ziemlicher Kraft straff gezogen werden kann. Fig. 350 zeigt eine solche Vorrichtung, bei welcher die zwei Drahtenden, aus denen die Leitung besteht, über zwei Rollen geschlungen sind. Mittels einer Kurbel werden diese Rollen so weiter gedreht, daß sich der Draht auf sie aufwickelt, das Zurückgehen aber wird durch einen Sperrhaken gehindert, der in ein Steigrad eingreift. Das Gestell des Apparates selbst dient als Leitung für den Strom zwischen den beiden Drahtenden und ist daher ebenfalls durch eine Porzellanglocke isoliert. Auch Fig. 351 und 352 zeigen Spannvorrichtungen, von denen die erstere besonders in England, die andere in Deutschland zur Anwendung kommt.

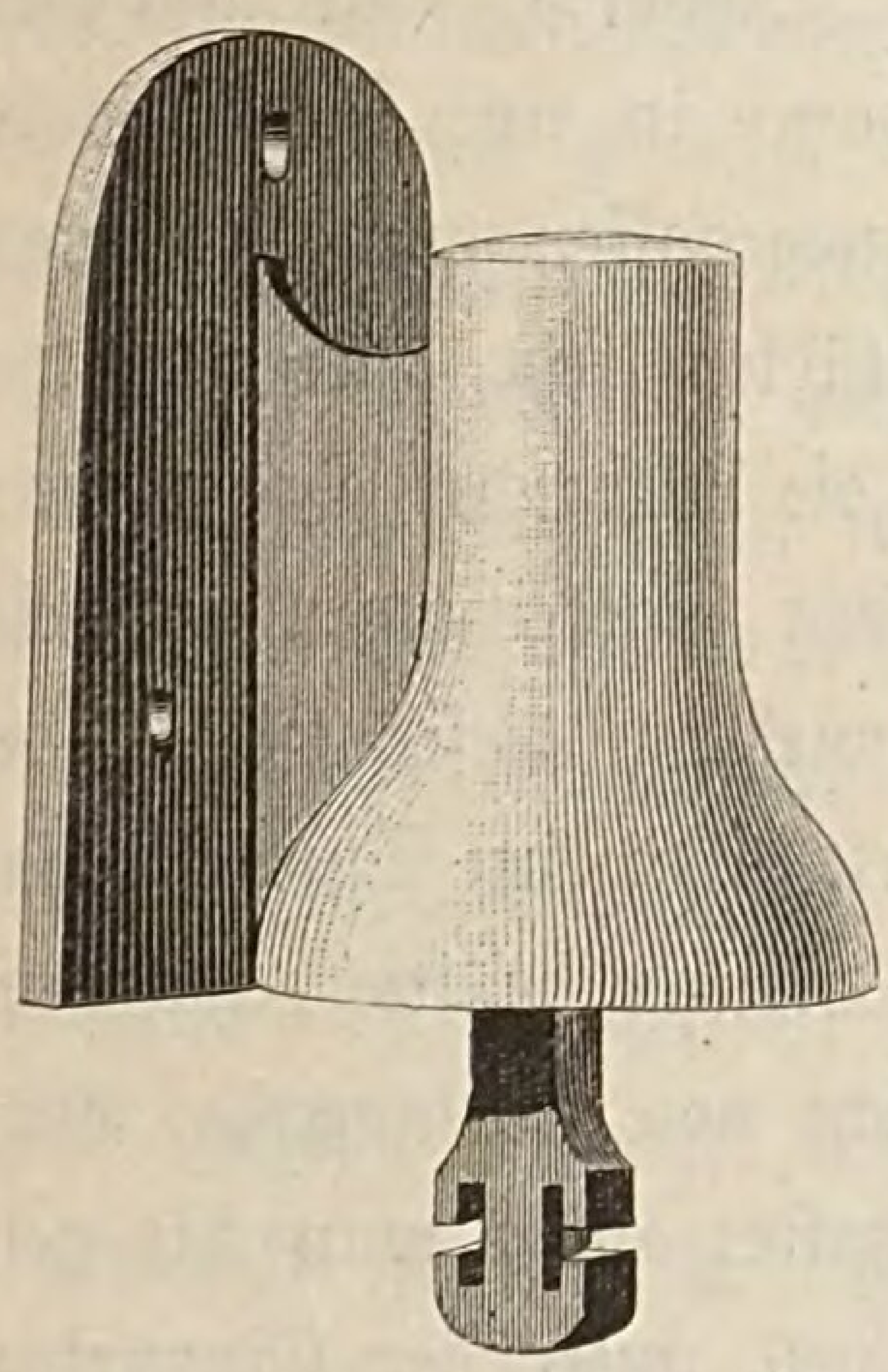


Fig. 351. Spannvorrichtung nach Siemens und Halske.

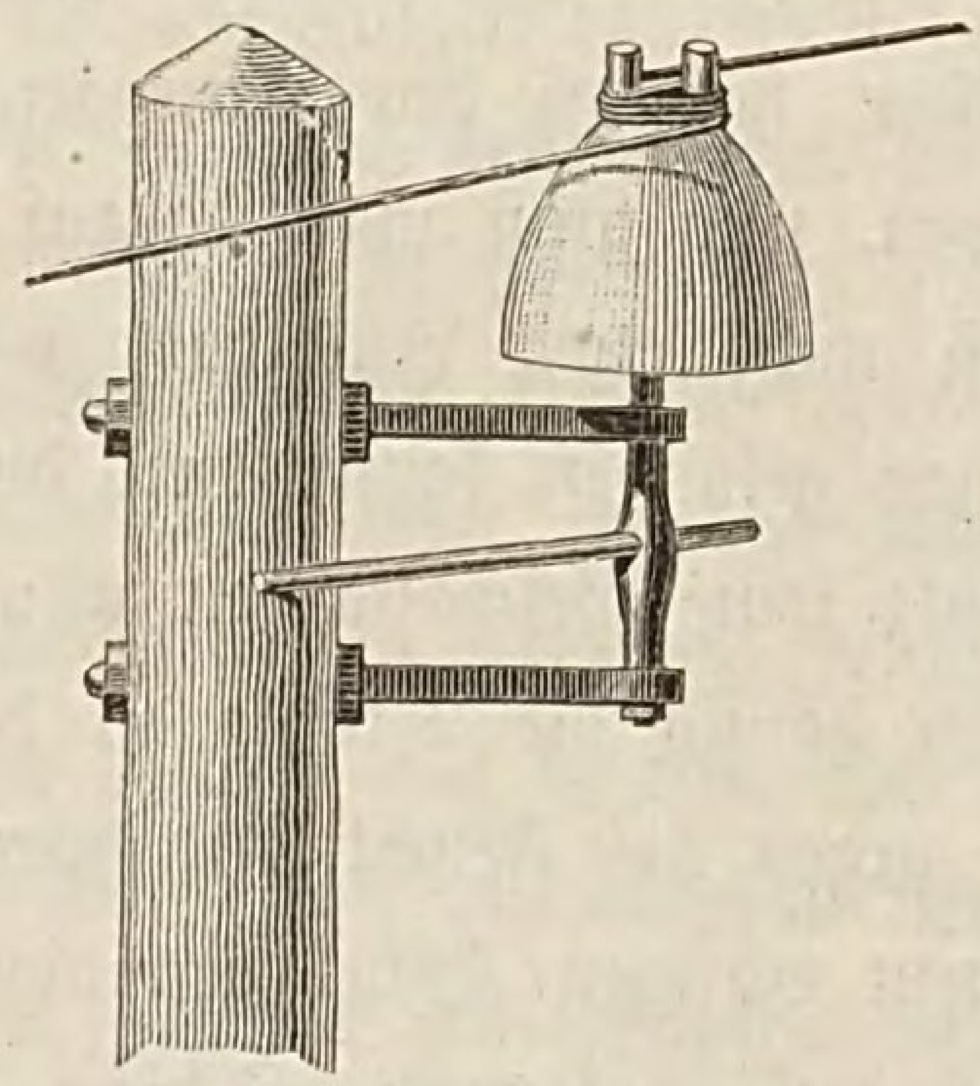


Fig. 352. Einfache Spannvorrichtung.

Als die ersten Telegraphenlinien von etwas größerer Ausdehnung eingerichtet wurden, meinte man, daß man sich mit dem Systeme der Luftleitungen, welches bereits von Gauß und Weber angewendet war, nicht begnügen dürfe: denn man fürchtete erstens, daß von diesen Leitungen aus die Elektricität zu leicht entweichen könne, zweitens aber auch, daß die Leitungen häufig aus Fahrlässigkeit oder bösem Willen beschädigt werden würden. Deshalb führte man die Drähte unterirdisch in einer Tiefe von 50 bis 60 cm in Röhren weiter, in denen sie in gute Isolatoren eingebettet waren: doch die bedeutenden Kosten, welche dieses System beanspruchte, waren Veranlassung, daß man es fast vollständig aufgab und nur noch in den großen Städten und bei Leitungen, welche durch lange Eisenbahntunnel hindurchgehen, zur Anwendung brachte.

In diesen Fällen verfertigt man die Leitungsdrähte aus Kupfer und schließt jeden derselben in eine Hülle von Guttaperch ein: mehrere solche Drähte werden dann zu einem Kabel vereinigt, welches dadurch noch weiter isoliert wird, daß es äußerlich mit einer Hülle von getheertem Seidenzeuge umschlossen wird. Dieses Kabel wird darauf in eine Röhre eingeschlossen, welche aus Gußeisen, Blei oder kreosothaltigem Holze besteht, und dann auf ein Bett von Sand oder gesiebter Erde in höchstens 1 m Tiefe in den Erdboden eingesenkt wird. Oder man benutzt auch Drähte aus galvanisiertem Eisen derselben Art, wie man sie bei den Luftleitungen anwendet, vereinigt deren vier bis zehn zu einem Bündel, nachdem man sie durch zwischenliegende Schichten von Asphalt von einander isoliert hat, und versenkt sie dann in eine Furche von etwa 1 m Tiefe, deren Grund mit Asphalt ausgegossen wird. Dieses Verfahren hat bei den Leitungen in den Städten sehr gute Resultate ergeben, nur muß man darauf achten, daß die Lager der Drähte so liegen, daß nicht etwa Leuchtgas, welches aus den Gasleitungen entweicht, zu ihnen gelangen kann, weil durch die Einwirkung dieses Gases der Asphalt seine Beschaffenheit allmählich ändert. In den Tunneln hat man auch häufig die Drähte an der oberen Wölbung befestigt, nachdem man sie gegen die Feuchtigkeit durch eine Schicht von Guttapercha, die sie zu einem einzigen Kabel vereinigt, geschützt hatte; allein man hat gefunden, daß diese isolierende Schicht sich sehr schnell unter der Einwirkung der atmosphärischen Einflüsse verändert.

Abgesehen von diesen einzelnen Fällen ist Jahrzehnte lang das System der Luftleitungen einzig und allein zur Anwendung gekommen und erst in der neuesten Zeit ist auch das alte System der Erdleitungen durch den unermüdlichen Organisator des deutschen Verkehrswesens, Generalpostdirector Stephan, wieder zu Ehren gebracht worden, und bereits sind die unterirdischen Verbindungslinien zwischen den Hauptverkehrsplätzen nämlich die drei Hauptlinien: 1. von Berlin über Halle und Frankfurt a. M. bis Mainz, 2. von Berlin über Potsdam und Magdeburg bis Köln, und 3. von Berlin über Hamburg bis Kiel mit den Seitenlinien Halle-Leipzig, Frankfurt-Straßburg und Köln-Elberfeld-Barmen mit einer Kabellänge von 2044 km und einer Drahtlänge von 16121 km seit Ende des Jahres 1878 vollendet.

Fragen wir weiter, welcher Quelle die Elektricität entstammt, die

die Bewegungen der Telegraphenapparate bewirkt, so finden wir, daß es in den meisten Fällen galvanische Batterien sind, von denen die Ströme ausgesendet werden: bisher haben wir nur einen einzigen Apparat, den Zeigertelegraphen von Siemens und Halske (Fig. 328 und 329) kennen gelernt, bei dem der Strom einem magneto-elektrischen Rotationsapparate entstammt, und auch bei langen submarinen Linien können nur Inductionsströme mit Erfolg angewendet werden, ebenso wie auch die Eisenbahnläutewerke durch ebensolche Ströme ausgelöst werden. Für den telegraphischen Betrieb hat man in den meisten Fällen Batterien aus Daniell'schen Elementen als ausreichend befunden, die bedeutend kräftiger wirkenden Bunsen'schen Elemente, welche man an einigen Orten eingeführt hatte, sind fast gänzlich wieder außer Dienst gestellt worden, weil deren Unterhaltung sehr viel kostspieliger ist; nur auf einigen amerikanischen Linien sind letztere noch im Gebrauche. Die Füllung besteht auch vielfach nur aus einer Flüssigkeit, sodaß die Batterien streng genommen nicht constant sind, indem das Ausscheiden des Wasserstoffes nicht vermieden ist, und an Stelle des Zinkes wird bisweilen das zwar weniger stark wirkende, aber viel dauerhaftere Blei angewendet. In England benutzt man gewöhnlich Trogapparate, deren einzelne Zellen mit feinem Sande gefüllt sind, welcher mit einer Lösung von Salmiak oder mit angesäuertem Wasser getränkt ist, und in welchen in jeder Zelle je eine Kupfer- und eine amalgamierte Zinkplatte eintaucht: für die Nadeltelegraphen, die dort noch jetzt eingeführt sind, sind die schwachen Ströme, welche diese Batterien liefern, vollkommen ausreichend. In Oesterreich findet man dagegen noch vielfach Smee'sche Elemente aus Silber und amalgamiertem Zinke, welche in verdünnte Schwefelsäure eintauchen. In Frankreich wendet man jetzt vielfach Elemente von Marié Davy an, welche aus Kohle, Zink und einer Lösung von schwefelsaurem Quecksilberoxyd bestehen: 38 solcher Elemente genügen für eine Leitung von 500 Kilometer.

Doch selbst wenn die Daniell'schen Elemente mit doppelten Flüssigkeiten, welche durch eine Thonzelle von einander getrennt sind, nämlich mit verdünnter Schwefelsäure beim Zink und Lösung von Kupfervitriol beim Kupfer, angewendet werden, ist deren Anwendung sehr bequem: es genügt, daß man von Zeit zu Zeit Wasser nachfüllt um zu ersetzen, was durch Verdunstung verloren gegangen ist, und darauf zu achten, daß in jedem Elemente beim Kupfer beständig ungelöste Krystalle von Kupfer-

vitriol im Ueberflusse vorhanden sind; Schwefelsäure nachzufüllen ist nicht nöthig, da der Verbrauch durch die Zersetzung des Kupfervitriols vollständig gedeckt wird. Erst nach längeren Zeiträumen, bei sehr viel in Anspruch genommenen Linien nach 3—4 Monaten, bei weniger frequenten nach einem halben Jahre, muß man die Elemente auseinander nehmen, um das Zinkvitriol, das sich gebildet hat, zu entfernen, die Zinke neu zu amalgamieren oder durch neue zu ersetzen, in so weit sie durch die galvanische Thätigkeit aufgebraucht sind. Man rechnet gewöhnlich auf Strecken von 100, 200 oder 400 Kilometer Länge 30, 50 oder 70 Elemente. Die Localbatterien, deren Ströme bei Anwendung des Relais nur einen sehr kurzen Weg zu durchlaufen haben, bestehen aus einer weit geringeren Zahl von Elementen.

§ 2. Die Kabel.

Nicht lange nach der Zeit, in welcher man anfing Telegraphendrähte in der Luft auszuspannen oder in die Erde einzusenken, trat man auch an die Frage heran, ob es nicht möglich sei auch die Punkte am Ufer der Flüsse und Meere durch Drahtleitungen unterhalb des Wassers mit einander zu verbinden, und bald fand auch diese Aufgabe ihre Lösung. Schon im Jahre 1839 stellte der englische Ingenieur O'Shaughnessy zwischen den beiden Ufern des Hugly, des etwa 2 Kilometer breiten Mündungsarmes des Ganges, an welchem Calcutta liegt, die Verbindung durch einen gut isolierten Draht her, den er in den Fluß einsenkte, und schon im folgenden Jahre machte Wheatstone, jener englische Physiker, der das Telegraphenwesen in allen Zweigen sehr gefördert hat, ernstlich den Vorschlag Dover und Calais durch ein Kabel zu verbinden. Allein die Ausführung dieses Projectes ließ noch längere Zeit auf sich warten, denn erst im Jahre 1850 legte der französische Ingenieur Brett zwischen dem Cap Gris-Nez, dem Küstenvorsprunge nördlich von Boulogne, und Dover einen Kupferdraht, welcher in eine dicke Hülle von Guttapercha eingeschlossen war. Doch auch diese Verbindung war von sehr kurzer Dauer: „ungefähr 400 Depeschen, sagt W. Huber in seinem Werke über das Telegraphennetz der Erde, waren hindurchgegangen, als plötzlich der Draht verstummte. Ein Fischer hatte ihn mit seinen Netzen heraufgezogen und sich beeilt ein Stück davon auszuschneiden, welches er triumphierend nach Boulogne brachte um dort dies merkwürdige Seege-

wächs mit goldenem Kerne vorzuzeigen.“ Allein die Möglichkeit einer Telegraphenleitung unter dem Meere herzustellen, war bewiesen, und so wurde bereits im nächsten Jahre ein neues Kabel an derselben Stelle gelegt und seitdem ist die Verbindung zwischen England und Frankreich nie wieder unterbrochen worden. Das Gelingen dieser Unternehmung ermuthigte zu immer neuen Versuchen und bald wurden die Küsten verschiedener mehr oder weniger breiter Meeresstraßen und selbst ausgedehnter Meerestheile, wie z. B. manche Gebiete des Mittelländischen Meeres durch Kabel verbunden: bis man endlich im Jahre 1857 das große Wagniß ernstlich in's Auge faßte, die alte und neue Welt auf gleiche Weise in Verbindung zu setzen. Ein volles Jahr noch dauerten die Vorbereitungen zu diesem gewaltigen Unternehmen, am 28. Juli 1858 aber traf das amerikanische Schiff Niagara mit dem englischen Schiffe Agamemnon, deren jedes die Hälfte des Kabels trug, an einer bestimmten Stelle des atlantischen Oceans zusammen, die beiden Kabelenden wurden mit einander verbunden und die Legung begann gleichzeitig nach beiden Richtungen hin. Am 5. August landete der Agamemnon bei der Insel Valentia an der Westküste von Irland und bald darauf der Niagara bei New-Foundland, sodaß nunmehr die Verbindung zwischen beiden Erdtheilen hergestellt war. Leider war diese Errungenschaft nur von kurzer Dauer, denn nachdem nur wenige Depeschen ausgewechselt waren, verwirrten sich die Zeichen und bald hörte das Sprechen gänzlich auf. Das Mißlingen dieses sehr kostspieligen Versuches schreckte für längere Zeit von ähnlichen Unternehmungen ab, bis endlich im Jahre 1865 von Neuem ein Kabel und zwar diesmal mit besserem Erfolge, nahezu auf demselben Wege gelegt wurde. Auch das Kabel von 1858 fischte man später wieder vom Grunde des Meeres auf, suchte die schadhaften Stellen auf und stellte es nach erfolgter Ausbesserung wieder in Dienst; gegenwärtig ist die telegraphische Verbindung zwischen den beiden Ufern des atlantischen Oceans auf fünf verschiedenen Wegen hergestellt. Welche Ausdehnung das Telegraphennetz der Erde seit jener Zeit erlangt hat, werden wir in einem späteren Paragraphen kurz besprechen.

Wenden wir uns jetzt zur Betrachtung der Kabel selbst und zur Besprechung der Umwandlungen, welche das telegraphische Verfahren hat erfahren müssen, wenn es für den Betrieb jenseits des Meeres angewendet werden sollte.

Der eigentliche Leitungsdraht eines unterseeischen Telegraphendrahtes ist mit mehreren Hüllen umgeben, welche theils als Isolatoren dienen, theils Schutz gegen mancherlei Einwirkungen gewähren sollen, die den Bestand der Linie gefährden. Die Leitung besteht entweder aus einem einzigen Kupferdrahte von 1—2 mm Dicke, oder aus 5—6 feineren Kupferdrähten, welche spiralförmig umeinander gewunden sind: der letzteren Anordnung giebt man jetzt allgemein den Vorzug, weil für den Fall, daß aus irgend einer Ursache einer oder der andere dieser Drähte reißen sollte, deshalb die Verbindung noch nicht unterbrochen ist. Jeder

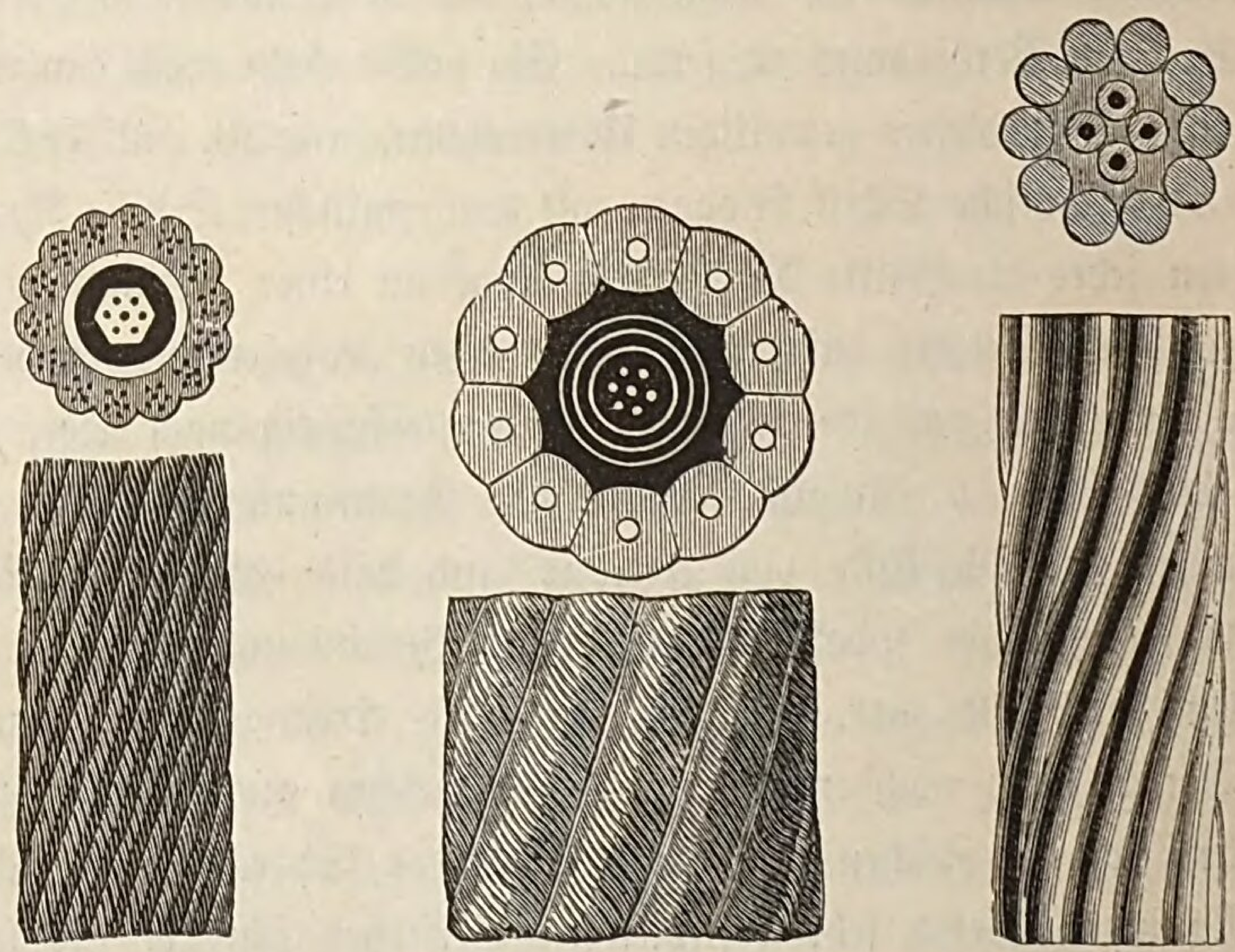
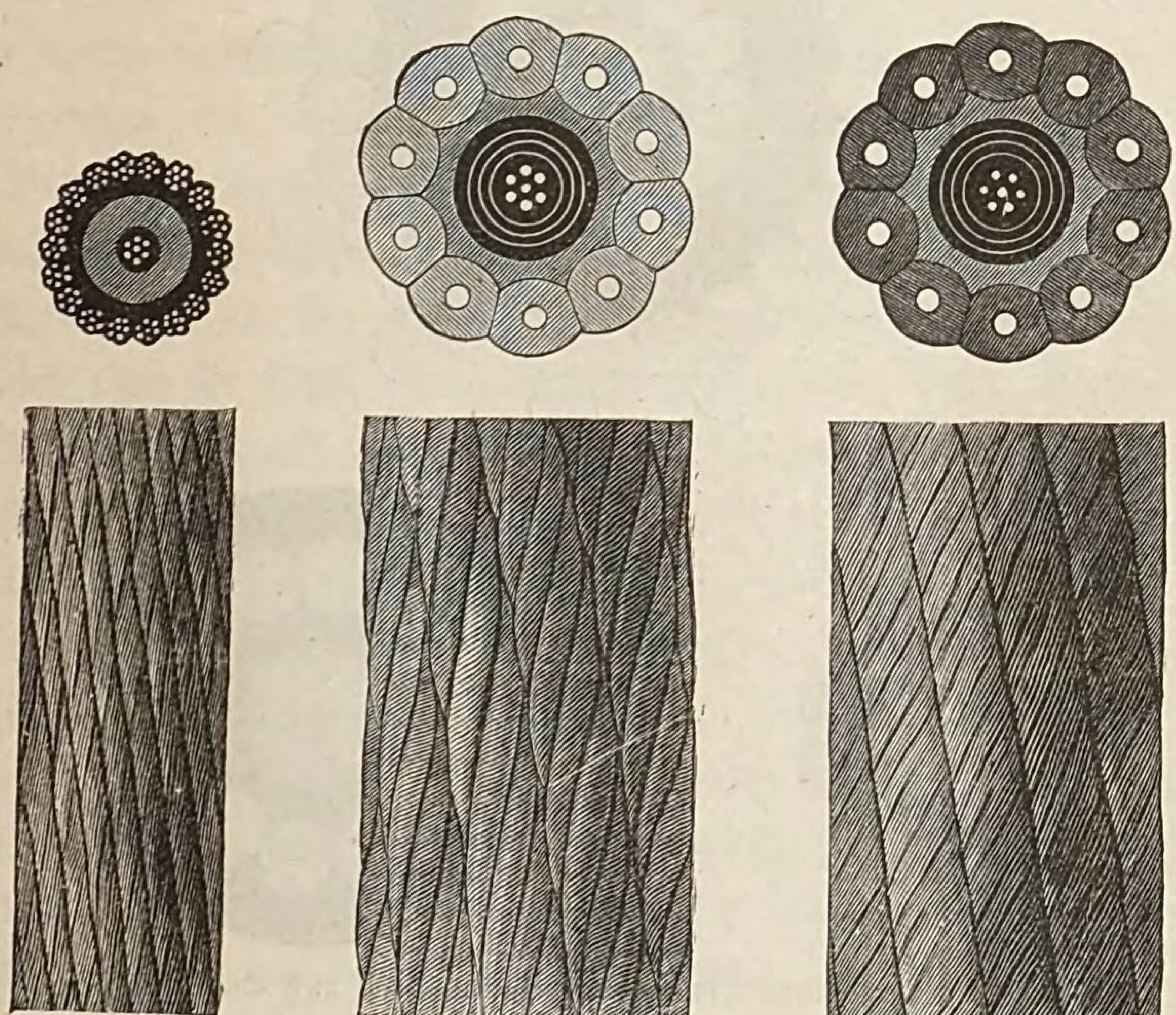


Fig. 353. Telegraphenkabel: Aeußere Ansicht und Querdurchschnitt.

einzelne Draht muß von einer Hülle von Guttaperdha von allen Seiten gut umschlossen sein, und man setzt diese Hülle gewöhnlich aus vier Schichten zusammen, sodaß die Drähte äußerlich von einer Lage von 3—4 mm Dicke umschlossen sind: Guttaperdha ist nicht allein ein sehr guter Isolator, sondern es zeichnet sich auch dadurch aus, daß es sich durch die Einwirkung des Seewassers mit der Zeit fast gar nicht verändert. Anfangs begnügte man sich mit dieser Umhüllung, doch bald sah man ein, daß man ihr einen weiteren Schutz gegen etwaige Beschädigungen geben müsse: deshalb schloß man sie in eine dicke Schicht von getheerter Seide ein, welche äußerlich mit Seilen aus galvanisiertem Eisendrahte umwickelt wird und dadurch einen sehr festen Halt bekommt.

In Fig. 353, 354 und 355 geben wir Abbildungen von Stücken verschiedener Kabel in natürlicher Größe, welche jetzt auf mehreren unterseeischen Linien im Gebrauche sind: man sieht, daß diese Kabel zwar an Dicke sehr verschieden von einander sind, daß ihr innerer Bau dagegen im Wesentlichen ziemlich übereinstimmt. In der ersten Zeit glaubte man, daß man in ein Kabel mehrere von einander isolierte Leitungen einschalten könnte, so wie es in Fig. 353 dargestellt ist, um die Möglichkeit zu haben, gleichzeitig mehrere Depeschen zu übermitteln: jetzt hat man dagegen eingesehen, daß diese Anordnung mancherlei Unzuträglichkeiten mit sich bringt, denn einmal werden dadurch die Kabel so dick und



1858. 1865. 1869.

Fig. 354. Kabel der transatlantischen Linie zwischen Valentia und Newfoundland aus den verschiedenen Jahrgängen.

schwer, daß das Legen sehr große Schwierigkeiten bereitet, und dann zeigt sich besonders der sehr große Uebelstand, daß jeder Strom, der durch den einen Draht hindurch geht, in den benachbarten Drähten Inductionsströme hervorruft, welche mancherlei Störungen veranlassen. Daher bringt man jetzt in jedem Kabel nur eine Leitung an, welche aus mehreren, zu einem Seile gedrehten Drähten, besteht, die Punkte

aber, zwischen denen der Verkehr ein sehr lebhafter ist, sind durch mehrere Kabel miteinander verbunden.

Die Kabel sind gewöhnlich in ihren einzelnen Theilen nicht an allen Stellen von gleicher Stärke, sondern die Stärke wechselt nach der Beschaffenheit der Meerestheile, in denen es gelagert sein soll. Am stärksten muß das Kabel in der Nähe der Küste sein, weil dort das Meer nur

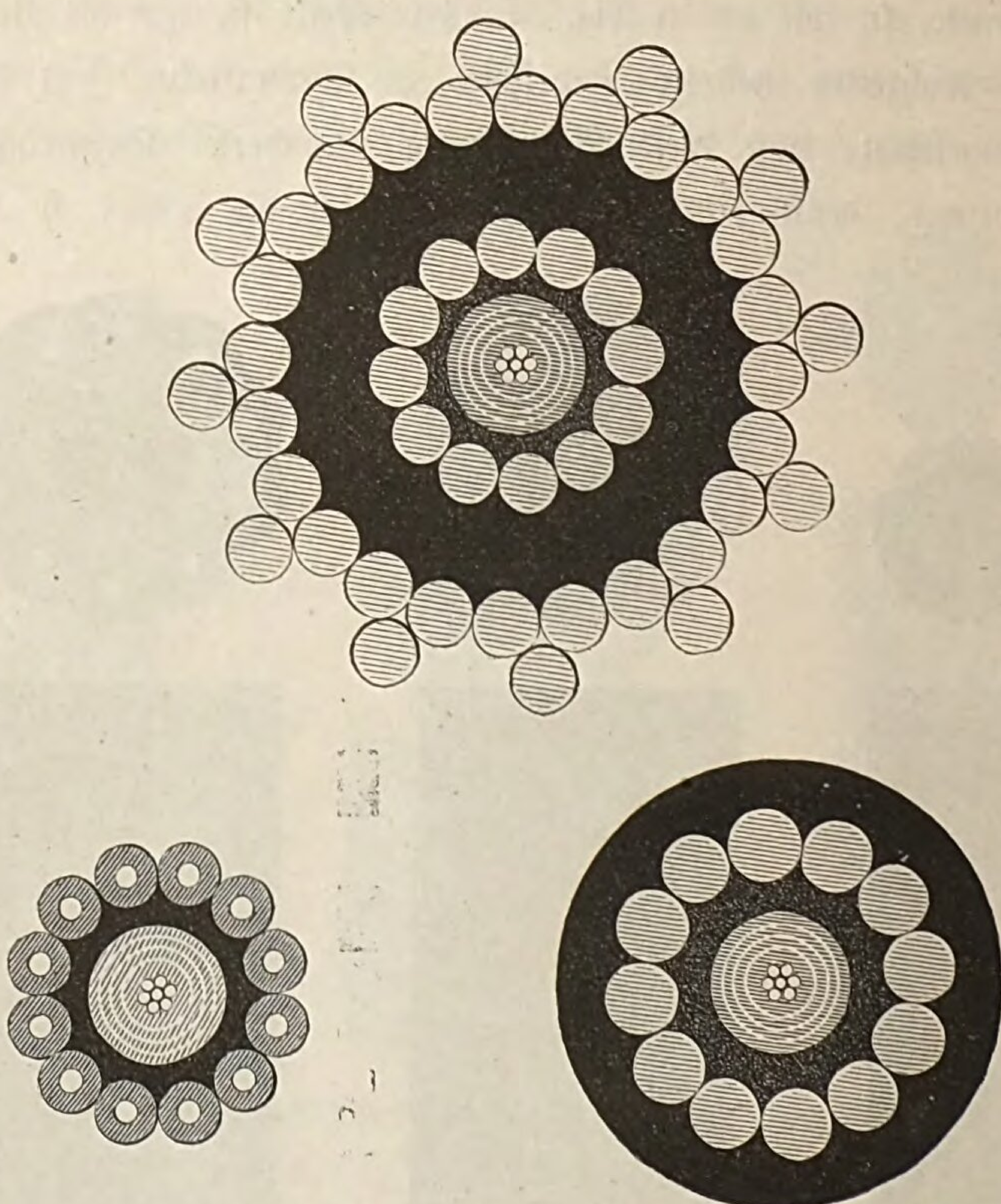


Fig. 355. Transatlantisches Kabel zwischen Brest und Saint Pierre vom Jahre 1867.

geringe Tiefe besitzt und dadurch das Kabel leicht Unfällen ausgesetzt ist, welche es infolge des starken Wogenschlages bei hochgehender See betreffen könnten, sowie es auch den Angriffen durch die Anker der Schiffe und durch die Netze der Fischer mehr ausgesetzt ist. Dort besteht die schützende metallische Hülle aus Drähten von bedeutendem Durchmesser, welche man weiter noch mit einer Schicht aus einer kieselhaltigen Masse überzieht um ihre Widerstandskraft zu vermehren und zu verhindern, daß sie sich nicht sobald durchscheuern, wenn sie sich gegen die Felsen des Meeres reiben: man nennt diesen Theil des Kabels das Küstenkabel. Für

die mittleren Tiefen wählt man auch einen mittleren Durchmesser, indem man die metallische Umhüllung verringert; der Theil endlich, welcher auf freiem Meere in sehr bedeutender Tiefe zu liegen kommt, hat einen noch viel geringeren Durchmesser (Fig. 355), weil in dieser Tiefe eine Bewegung kaum noch stattfindet und auch anderweitige Beschädigungen nicht zu befürchten sind; dadurch daß man diesen Theil des Kabels sehr viel dünner macht, wird auch das Gesammtgewicht ein noch viel geringeres und hierdurch wird das Legen des Kabels wesentlich erleichtert.

In der That ist das Gewicht der Kabel selbst auf unterseeischen Linien von verhältnißmäßig geringer Ausdehnung ein ganz enormes: so wog das Kabel, welches im Jahre 1851 zwischen Dover und Calais gelegt wurde und welches nur eine Länge von 41 Kilometern besaß, doch nicht weniger als 180000 Kgr. Das transatlantische Kabel, welches von Valentia ausgeht, wiegt 865 Kgr. für den laufenden Kilometer, das von Brest ausgehende 836, sodaß sich für ersteres ein Gesammtgewicht von 4300, für letzteres von 4000 Tonnen ergiebt, und zwar ist dabei nur der Theil gerechnet, welcher sich von Brest bis zur Insel Saint Pierre erstreckt. Ein einziges Fahrzeug, der colossale Dampfer Leviathan oder Great Eastern war im Stande eine derartige Last zu tragen und auch als derselbe die Kabellegung ausführte, hatte er mit sehr bedeutenden Schwierigkeiten zu kämpfen, die besonders daher erwuchsen, daß im Verlaufe der Legung die Last immer geringer wurde und infolge dessen das Schiff immer weniger tief eintauchte; auch das Legen des Kabels bei sehr großer Meerestiefe, z. B. bei einer Tiefe von 2500 Faden (4 Kilometer), erforderte sehr complicierte Vorrichtungen: doch die Besprechung dieser technischen Beziehungen gehört nicht in das Bereich unserer Aufgabe, und wir kehren daher zur Betrachtung der physikalischen Verhältnisse zurück.

Bevor die Versuche gelungen waren, zweifelten sehr viele Personen daran, daß es überhaupt möglich sei durch eine im Meere gelagerte Leitung auf große Entfernungen hin, wie z. B. vom europäischen Festlande durch den atlantischen Ocean nach Amerika, telegraphische Zeichen zu senden: nicht sowohl die Größe der Entfernung war es, was ihnen Bedenken erregte, als vielmehr der Umstand, daß das Kabel bis zu einer ungeheuren Tiefe in ein Mittel von so bedeutender Leistungsfähigkeit, wie sie das Meerwasser besitzt, versenkt werden mußte. Wie sich die

Leitungsdrähte verhalten würden, wenn die elektrischen Ströme in sie eingeführt würden, ob ihre Isolierung genügen würde, ob die Kraft des Stromes ausreiche, damit er ohne Störung bis an das andere Ende der ausgedehnten Linie, auf welcher sich kein Relais einschalten läßt, gelange: alles dies waren Befürchtungen, welche zuerst nur unklar den dabei interessierten Männern vorschwebten, welche aber vollkommen gerechtfertigt erschienen, als es sich zeigte, daß das Kabel vom Jahre 1858, nachdem nur wenige Depeschen zwischen den Vereinigten Staaten und Ireland auf ihm ausgetauscht waren, plötzlich nur noch verwirrte Zeichen gab und schließlich ganz verstummte.

Man sah sich daher genöthigt, ernstlich an die Untersuchung der Verhältnisse zu gehen, welche eintreten müssen, wenn ein Strom in einen Leiter von sehr großer Länge eingeführt ist, welcher unter Wasser taucht: welche Schwierigkeiten sich dabei zeigen, welche bis dahin unbekannte Hindernisse sich dem Strome entgegenstellen, und welche Mittel man anzuwenden hat um dieselben zu überwinden. Eine Reihe namhafter Gelehrter, unter denen wir besonders Faraday, Wheatstone, Guillemin, Gaugain und vor Allem Siemens nennen, haben eingehende Studien über diese Punkte gemacht und das Problem schließlich zu einer glücklichen Lösung geführt; daß die Störung des ersten transatlantischen Kabels in einer Zerreißung der Drähte ihren Grund hatte, hat sich später herausgestellt und das Kabel hat sich als ganz leistungsfähig gezeigt, nachdem jener Schaden ausgebessert war.

Zunächst erkannte man, daß ein Kabel, welches in die Gewässer des Meeres eingetaucht ist, sich in dem Augenblicke, in dem ein Strom in dasselbe eintritt, gleichsam in einen Condensator verwandelt, der ähnlich wie eine Leidener Flasche wirkt: sobald die elektrische Ladung in den inneren Leitungsdraht eintritt, wirkt sie vertheilend auf die Leiter, welche das Kabel äußerlich umgeben, nämlich auf die Drähte, welche den Schutz des Kabels bilden, ebenso wie auf das Wasser des Meeres. Sie bindet in jenen Leitern die ihr entgegengesetzte Elektricität, die sie durch die Hülle von Guttapercha hindurch anzieht und wird nun ihrerseits selbst wieder von dieser Elektricität gebunden, sodaß sich ihrer Ausbreitung dadurch ein Hinderniß entgegen stellt, welches erst allmählich überwunden werden kann. Tritt der Strom in den Leitungsdraht ein, so entstehen in den benachbarten Drähten Ströme, die ihm entgegengesetzt gerichtet

sind und ihn an der Ausbreitung hindern; wird dagegen der Strom unterbrochen, so zeigen sich Inductionsströme von gleicher Richtung, welche bewirken, daß der Strom scheinbar noch längere Zeit anhält: wollte man nun ein neues Zeichen geben, bevor diese Zeit abgelaufen ist, so würde dasselbe mit dem vorhergehenden Zeichen verschmelzen und damit große Verwirrung eintreten. Man hat also zunächst daran denken müssen, durch irgend welche Mittel die Einwirkung dieser Inductionsströme möglichst unschädlich zu machen. Ein zweiter Uebelstand besteht darin, daß die Guttapercha, so vorzüglich sie auch als Isolator sein mag, doch bei diesen ungeheuren Entfernungen so viel Elektricität entweichen läßt, daß der Strom bei seiner Ankunft sehr geschwächt ist, und man hat aus diesem Grunde sich genöthigt gesehen, sehr starke Ströme anzuwenden.

An Stelle der Volta'schen Säulen oder der galvanischen Batterie verwendet man daher jetzt vielfach beim Betriebe der transatlantischen Telegraphen magneto-elektrische Inductionsapparate, welche sehr starke Ströme ergeben, die sich zugleich auch mit viel größerer Geschwindigkeit verbreiten, als die gewöhnlichen Batterieströme. Um die Ströme unschädlich zu machen, die in der Umgebung des Kabels inducirt werden, hat man verschiedene Mittel in Vorschlag gebracht; so hat zuerst Whitehouse empfohlen, daß man immer statt eines einzigen Stromes eine Reihe kurz andauernder und schnell auf einander folgender Ströme aussenden soll, welche abwechselnd entgegengesetzte Richtung haben. Durch dieses Mittel, welches sich ganz gut bewährt hat, wird bewirkt, daß auch in der Umgebung Inductionsströme von entgegengesetzter Richtung entstehen, welche sich in ihrer Wirkung gegenseitig aufheben oder wenigstens sehr schwächen. Varley dagegen schaltet zwischen den Taster und die Leitung einen Condensator von sehr großer Oberfläche (40000 engl. Quadratfuß) ein, über dessen Wirkung sich Du Moncel folgendermaßen ausspricht: „In dem Augenblicke, in welchem der Contact des Zeichenmachers hergestellt ist, wird ein elektrischer Strom durch das Kabel gesendet um auf den Indicator zu wirken; dieser Strom ist positiv oder negativ, je nachdem die eine der beiden Tasten nieder gedrückt wird, welche am Zeichenmacher angebracht sind. Sobald aber diese Taste wieder in die Höhe geht, so wird eine Verbindung zwischen dem Condensator und der Erde hergestellt und die Elektricität, welche sich auf jenem

angehäuft hatte, kann nunmehr an beiden Enden der Linie nach der Erde abfließen. Hierbei trifft die Ladung, welche mit der Elektricität ungleichnamig ist, aus der der erste Strom bestand, welcher auf den Indicator wirkte, im Kabel auf letztere und neutralisiert sie, indem sie zugleich die Wirkung der Inductionsströme aufhebt, welche durch jene in der Umhüllung des Kabels hervorgerufen sind. Auf diese Weise wird das Kabel so zu sagen augenblicklich in den neutralen Zustand zurückgebracht und dadurch für die Abgabe eines neuen Zeichens hergerichtet."

Als Beispiel, an welchem wir zeigen wollen, wie die für den transatlantischen Dienst bestimmten Apparate eingerichtet sind, wählen wir den Telegraphen, welcher die Verbindung zwischen der französischen Hafenstadt Brest und der Insel Saint Pierre, südlich von Newfoundland, herstellt. Um dem Apparate möglichste Empfindlichkeit zu ertheilen und dadurch im Stande zu sein noch mit Strömen zu arbeiten, welche bei der Länge des Weges sehr an Intensität verloren haben, gebraucht man nur Nadeltelegraphen, und auch bei diesen Apparaten hat noch Varley eine wesentliche Umänderung des Galvanometers von Thompson angebracht, welche den Beamten das Wahrnehmen der Zeichen sehr erleichtert.

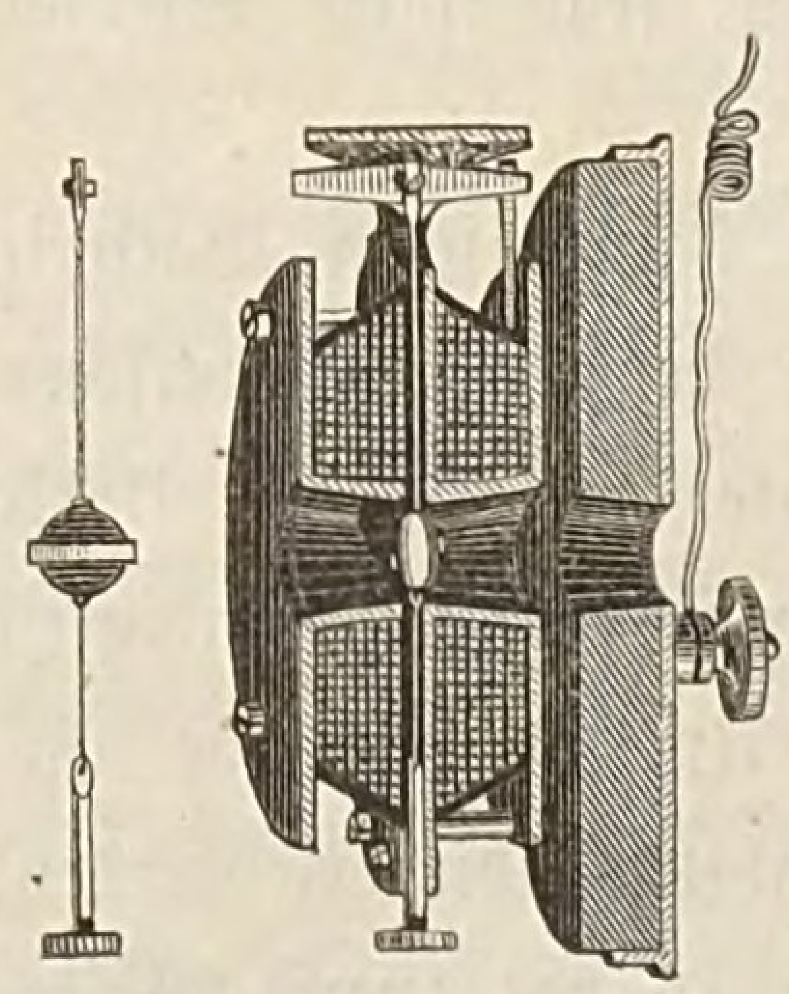


Fig. 356. Galvanometer im Telegraphenapparate zu Brest.

„Bei diesen Apparaten," sagt Du Moncel, „besteht das empfindliche Organ in einem kleinen linsenförmigen Spiegel, dessen Richtung durch eine an ihm befestigte Magnetnadel bestimmt wird; die Letztere wird durch einen fest aufgestellten Magneten immer wieder in eine bestimmte Lage zurückgeführt. Auf diesen kleinen Spiegel trifft ein scharfer Lichtstrahl und wird von ihm auf einen Schirm zurückgeworfen, welcher in einem Abstande von acht Fuß aufgestellt ist. Durch diese Vergrößerung wird die geringste Bewegung, die für das bloße Auge vollständig verschwindet, durch die Abweichung des zurückgeworfenen Lichtstrahles merklich; aus diesen Abweichungen zur Rechten und Linken von einer festen Marke auf dem Schirme, setzt man in ähnlicher Weise Zeichen zusammen, wie beim Morse'schen Alphabet aus Strichen und Punkten. Auf diesem Wege erhält man genügend viele Combinationen, welche zur Uebermittlung der Depeschen ausreichen und welche durch

den Beamten von einem Schirme in einer dunklen Kammer abgelesen werden."

Fig. 356 und 357 stellen die Telegraphenapparate des französischen transatlantischen Kabels dar, wie sie sich auf der Station in Brest vorfinden, und zwar zeigt die erste Figur den Galvanometer von Thompson im Querdurchschnitte, die letzte dagegen den ganzen Apparat mit allen seinen Theilen. Im Innern der Drahtspirale erblickt man den kleinen

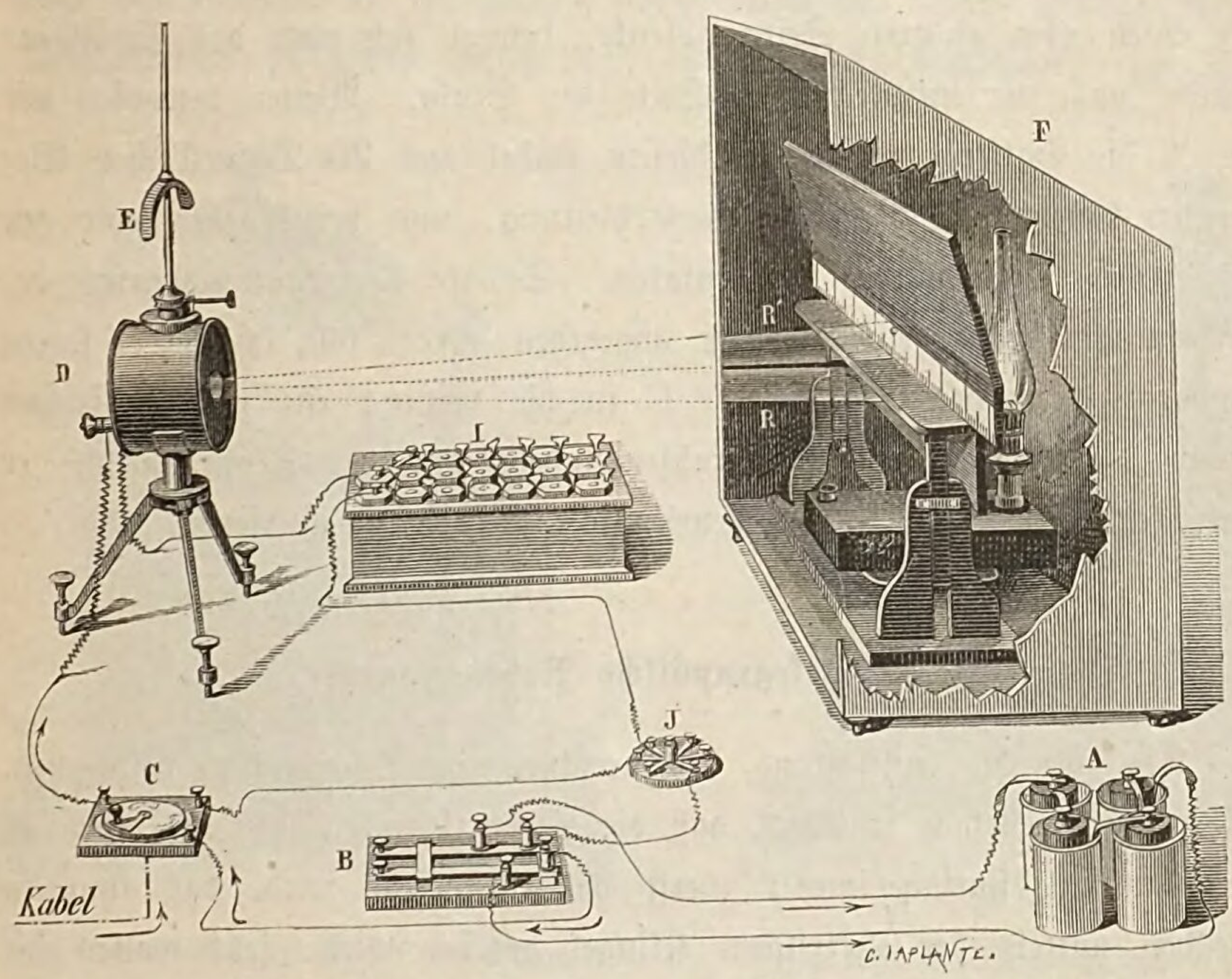


Fig. 357. Transatlantischer Telegraph zu Brest: Gesammtansicht.

kreisförmigen Spiegel, an welchem die Magnetnadel angebracht ist; letztere wird in ihre mittlere Stellung durch einen Magneten E (Fig. 357) zurückgeführt, der an einem Stabe oberhalb des Apparates angebracht ist. Ein Faden aus roher Seide trägt den Spiegel, dessen Bewegungen durch eine unterhalb des Apparates angebrachte flache Scheibe verlangsamt werden. C stellt den Commutator des Systemes dar und B den Schlüssel mit zwei Tasten, welcher ähnlich gebaut ist wie der Schlüssel am Morse'schen Apparate; je nachdem die eine oder andere Taste niedergedrückt wird, tritt der positive oder negative Pol der Batterie mit der Leitung in Verbindung, der Strom geht nach der fernen Station und

bewirkt, daß dort die Nadel im ersten Falle nach Rechts, im zweiten nach Links ausschlägt. F ist eine dunkle Kammer, welche die Scala einschließt, auf der sich der Schein der Flamme einer dahinter stehenden Lampe abspiegelt: von dieser Lampe geht ein Strahlenbündel durch eine Oeffnung, welche in der Wand der Kammer angebracht ist, verfolgt den mit R bezeichneten Weg, trifft auf den Spiegel und wird, wenn sich letzterer in der Ruhelage befindet, bei R nach dem Nullpunkte der Theilung zurückgeworfen; sobald ein Strom anlangt und den Spiegel nach der einen oder anderen Seite ablenkt, bewegt sich auch das Strahlenbündel nach der entsprechenden Seite der Scala. Weiter bemerken wir bei A die Batterie, welche bei diesem Kabel aus 20 Daniell'schen Elementen besteht, in J endigt die Erdleitung, und bei I sehen wir den von Varley eingeführten Condensator. Sobald der Stationsbeamte benachrichtigt ist, daß eine Depesche abgegeben werden soll, schaltet er seinen Apparat durch den Commutator C in die Leitung ein und beobachtet genau die Ausschläge des Strahlenbündels auf der Scala, welche er aufschreibt, um sie später in gewöhnliche Schrift zu übersetzen.

§ 3. Telegraphische Nebenapparate.

Als wir die Einrichtung der verschiedenen Telegraphen besprachen, haben wir mehrfach erwähnt, daß die Aufmerksamkeit des Beamten an der Empfangsstation immer zuerst dadurch erregt wird, daß ihm ein Zeichen mittels der elektrischen Klingel gegeben wird: jetzt wollen wir den Mechanismus dieser Apparate kennen lernen, indem wir zwei einfache Beispiele zur Anschauung bringen. Die meiste Verbreitung hat wohl die in Fig. 358 dargestellte elektrische Klingel von Bréguet gefunden, welche sich zugleich durch ihre große Einfachheit auszeichnet. Bei derselben tritt der Strom durch die kleine Säule A ein, umkreist den Elektromagneten und wird von da aus in den Stiel des Hammers BM geleitet; dieser Hammer liegt an der Feder R an, sodaß der Strom in letztere übergeht und von ihr aus nach der Schraube b und der Säule D weiter geleitet wird, um schließlich von hier aus die Erdleitung zu erreichen. Der Hammerstiel bildet aber auch zugleich den Anker des Elektromagneten, sodaß er bei Ankunft des Stromes angezogen wird und den Hammerkopf gegen die Glocke treibt, in demselben

Augenblicke läßt er aber auch die Feder R los, sodaß der Stromlauf unterbrochen wird und der Elektromagnet seinen Magnetismus sofort wieder verliert. Die Folge ist, daß der Hammer wieder in seine ursprüngliche Lage zurück geht, sich gegen die Feder legt und dadurch den Strom von Neuem schließt: dadurch wird der Anker wieder angezogen und es beginnt dasselbe Spiel von Neuem, sodaß beständig eine Reihe von Schlägen des Hammers gegen die Glocke auf einander folgen, so lange der Apparat in die Leitung eingeschaltet ist. Das Princip dieses Mechanismus ist zuerst durch Neef bei Inductionsapparaten zur An-

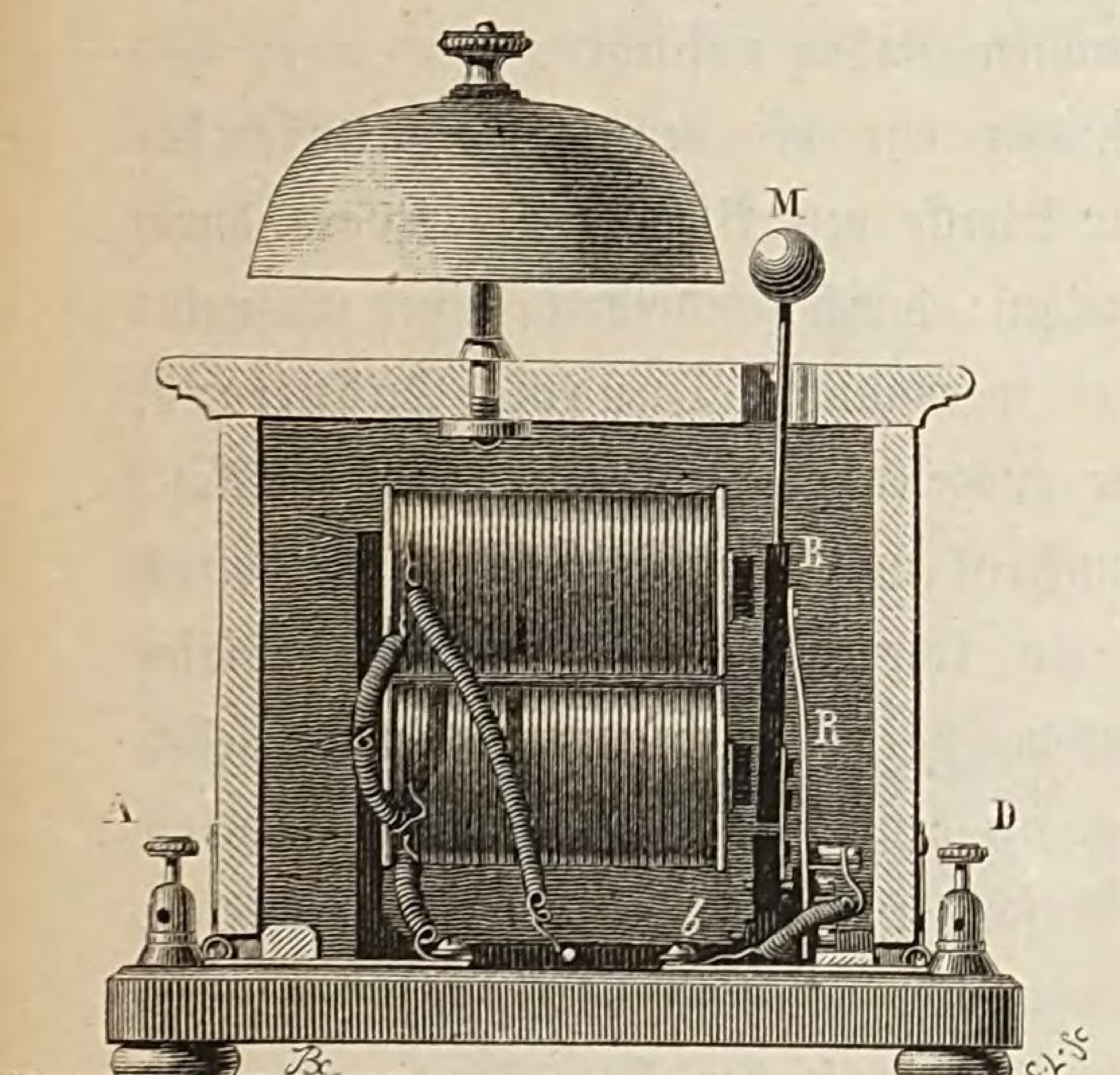


Fig. 358. Elektrische Klingel von Bréguet.

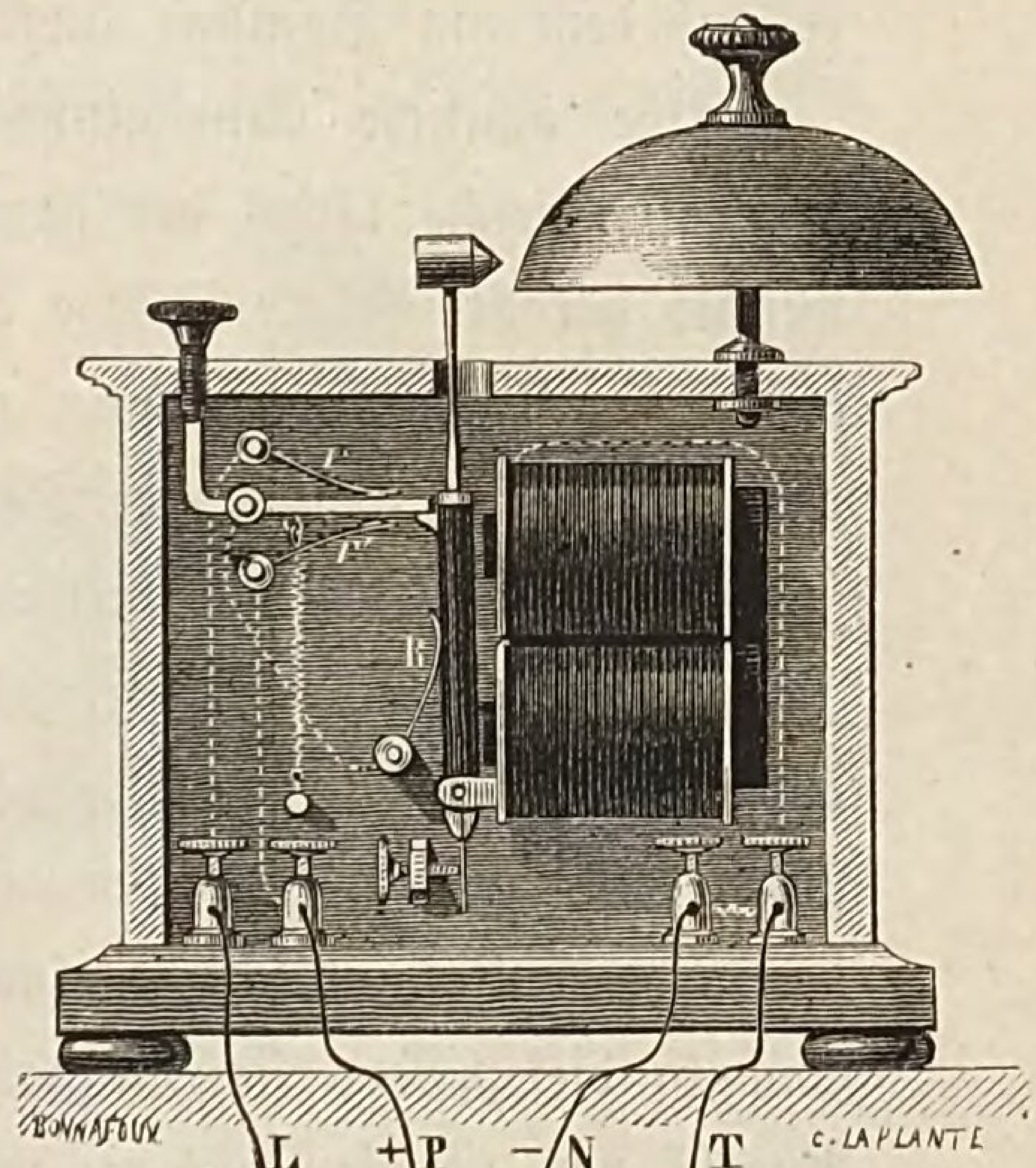


Fig. 359. Elektrische Klingel mit Auslösung von Aubine.

wendung gebracht worden, während der belgische Techniker Lippens es auf die elektrische Klingel übertrug.

Will man bewirken, daß das Geräusch der Klingel lange anhält und recht laut ist, so kann man an dem besprochenen Apparate eine Sperrvorrichtung anbringen, durch deren Auslösung die Klingel in den Stromlauf der Localbatterie eingeschaltet wird. Eine solche Einrichtung bemerken wir an der von Aubine construierten Glocke, die wir in Fig. 359 darstellen. Wir bemerken daselbst einen im Winkel gebogenen Hebel, welcher mit dem einen Ende auf einem Zahne am Hammerstiele aufliegt und dabei eine Feder r berührt, die mit der Leitung L nach der fernen Station in Verbindung steht. Sobald ein Strom ankommt und

der Hammer nur einmal angezogen wird, so läßt der am Hammer angebrachte Zahn den Hebel frei und letzterer wird durch eine Spiralfeder zurückgezogen, sodaß die Leitung nach der fernen Station nunmehr unterbrochen ist: dafür legt sich der Hebel gegen die Feder r′ und schaltet dadurch die Klingel in die Localbatterie ein, deren Poldrähte bei P und N in den Apparat eingeführt sind. Von diesem Augenblicke an beginnt das Klingeln unter der Einwirkung der Localbatterie und dauert so lange fort, bis der Beamte durch einen Druck auf einen Knopf, der am Hebel angebracht ist und über den Kasten des Apparates hervorsteht, den Hebel in seine ursprüngliche Lage zurück versetzt hat, in welcher er auf dem am Hammer angebrachten Zahne aufliegt.

Eine ähnliche Einrichtung finden wir bei den Eisenbahnläutewerken, welche längs der ganzen Strecke den Abgang des Zuges durch weithin hörbare Glockenschläge anzeigen; durch Umdrehung einer magnetoelektrischen Rotationsmaschine, eines sogenannten Dynamo-Inductors, wird ein Strom von kurzer Dauer ausgesendet, welcher in jedem Glockenhäuschen einen Elektromagneten umkreist und dadurch bewirkt, daß durch Zurückziehung eines Sperrkegels ein Uhrwerk ausgelöst wird. Dieses Uhrwerk, welches in ganz gewöhnlicher Weise durch ein Gewicht getrieben wird, setzt ein Rad in Bewegung, an dem sich Zapfen befinden, welche das wiederholte und abwechselnde Anschlagen der beiden Glocken bewirken. Sobald dieses Rad sich einmal umgedreht hat und damit die bestimmte Anzahl von Glockenschlägen erfolgt ist, greift der Sperrkegel wieder in einen Einschnitt, der bis zu ihm gelangt ist, ein, und hemmt das Uhrwerk so lange, bis er durch einen neuen Strom wieder ausgelöst wird.

Nur erwähnen wollen wir, daß jetzt schon vielfach elektrische Klingeln in Fabriken, Gasthäusern, ja sogar schon in den gewöhnlichen Haushaltungen Eingang gefunden haben, und wollen nur noch eine wichtige Anwendung dieses Apparates besprechen. Für die Arbeiter in den Kohlenbergwerken besteht eine sehr große Gefahr darin, daß sich aus den Kohlen selbst mancherlei Gase entwickeln können, die das Leben der Bergleute gefährden, indem sie entweder erstickend wirken, oder sich bei Berührung mit der Flamme der Lampe entzünden. Um das Auftreten dieser Gase anzuzeigen und damit die Gefahr abzuwenden, kann man Apparate aufstellen, welche von Ansell erfunden wurden und welche auf folgendem Principe beruhen. Befinden sich in zwei benachbarten Räumen,

welche durch eine poröse Scheidewand z. B. ein Stück Blase von einander getrennt sind, verschiedene Gase, so dringen dieselben von beiden Seiten durch die Scheidewand hindurch, sodaß sich in beiden Räumen eine Mischung der Gase bildet: dieses Wandern erfolgt aber nicht mit derselben Geschwindigkeit, sondern das dünnere Gas dringt in reichlicherer Menge hindurch und bewirkt, daß der Druck in dem Raume, der ursprünglich vom dichteren Gase eingenommen war, immer mehr steigt.

Ansell's Warnapparat (Fig. 360) besteht nun aus einer Röhre, welche sich auf beiden Seiten unter rechten Winkeln in die Höhe biegt und auf der einen Seite in ein weites trichterförmiges Gefäß ausläuft, das durch eine poröse Platte abgeschlossen ist. In der Röhre befindet sich Quecksilber, welches unter normalen Verhältnissen auf beiden Seiten

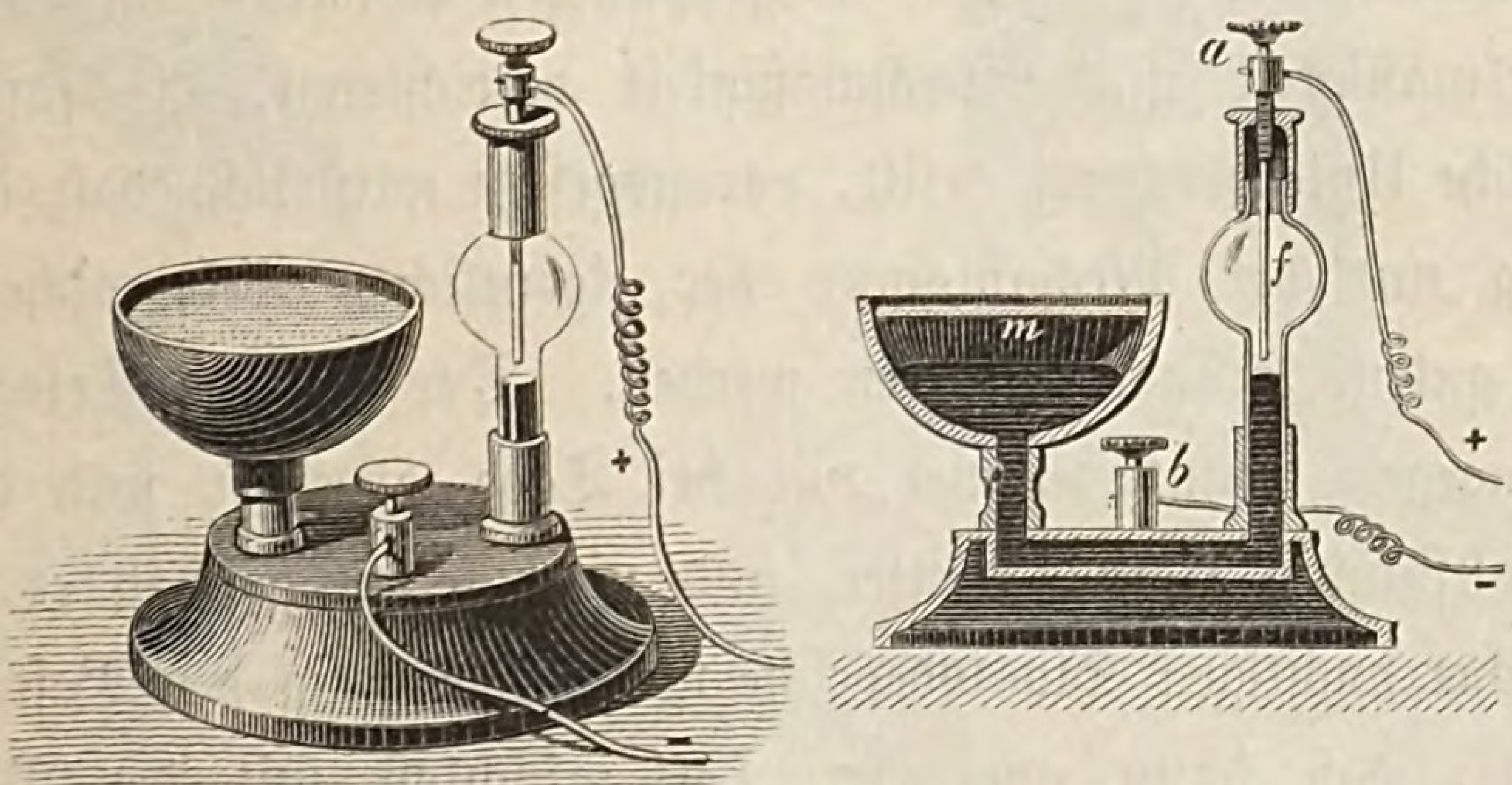


Fig. 360. Ansell's Warnapparat gegen schlagende Wetter.

gleich hoch steht und daher noch nicht bis an einen Metallstift heranreicht, der mit dem einen Pole einer galvanischen Batterie in Verbindung steht, während das Quecksilber selbst mit dem andern Pole in Verbindung gebracht ist. Wird nun dieser Apparat in einem Schachte aufgestellt und sammelt sich in seiner Nähe ein gefährliches Gas an, welches aus einer brennbaren Kohlenwasserstoffverbindung besteht und leichter ist als atmosphärische Luft, so wird auch eine größere Menge dieses Gases in den Raum m unterhalb der porösen Platte eindringen, als die Menge der Luft beträgt, die aus demselben Raume durch die Platte entweicht. Hierdurch wird das Quecksilber mehr nach der anderen Seite hinüber gedrängt, sodaß es an den Stift f anstößt, den Strom schließt und dadurch ein in denselben eingeschaltetes Läutewerk in Gang setzt. Auch um die Anwesenheit dichterer Gase, wie Kohlensäure oder

Schwefelwasserstoffgas anzuzeigen, kann man ähnliche Apparate anwenden, nur muß man dann den Stift f auf der entgegengesetzten Seite anbringen.

Die Ueberlegenheit der elektrischen Telegraphie über die ältere Lufttelegraphie beruht hauptsächlich in der großen Geschwindigkeit, mit welcher die Depeschen auf jede noch so große Entfernung hin befördert werden können: einige Sekunden oder höchstens einige Minuten genügen dem elektrischen Strome, um die Zeichen auf eine Entfernung von Tausenden von Kilometern hin fort zu tragen. Doch nicht dieser Grund allein ist Veranlassung gewesen, daß man ein System des Telegraphierens als veraltet aufgegeben hat, welches vor ungefähr fünfzig Jahren als ein Wunder von Schnelligkeit angestaunt wurde, es kam hierzu noch der weitere Umstand, daß die neuen telegraphischen Apparate ihre Arbeit mit einer Regelmäßigkeit und Gleichmäßigkeit verrichteten, die fast niemals irgend welche Unterbrechung erlitt, vorausgesetzt natürlich, daß die Säule, die Leitung und der Mechanismus der eigentlichen Telegraphenapparate immer in gutem Stande erhalten werden. Der optische Telegraph von Chappe dagegen konnte immer nur bei Tage arbeiten und dann auch nur bei vollständig klarem Wetter, und nicht selten geschah es, daß von irgend welcher wichtigen Staatsdepesche nur der Anfang den Bestimmungsort erreichte, daß dann aber der Text abschloß mit der Bemerkung: Unterbrechung durch Nebel oder Nacht. Bei dem elektrischen Telegraphen ist etwas ähnliches niemals zu befürchten, sondern derselbe arbeitet mit gleicher Vollkommenheit bei Tag und Nacht, während des ganzen Jahres hindurch und nur eine Gruppe von Ereignissen ist es, die ihn in seiner Wirksamkeit hemmen kann, nämlich die Gewitter, welche durch ihren Einfluß die Telegraphendrähte auf lange Strecken hin mit Elektricität laden und im Betriebe große Störungen herbeiführen, sowie auch die friedlicher verlaufenden elektrischen Entladungen bei den Erscheinungen, die man als Nordlichter bezeichnet.

Die Störungen durch diese elektrischen Erscheinungen in der Atmosphäre können einen solchen Grad erreichen, daß sie an der Leitung der Telegraphen oder auch an den Apparaten in den Stationen mancherlei Verwüstungen anrichten: heftige Blitzschläge sind im Stande die hölzernen Säulen umzubrechen oder wenigstens die Isolatoren aus Porzellan zu zertrümmern; dringt aber das elektrische Fluidum in die Stationen ein,

so kann es Drähte schmelzen, Magnetnadeln ihres Magnetismus berauben oder die Eisenkerne der Elektromagneten dauernd magnetisch machen. Daher muß man besonders in der Jahreszeit, in welcher die Gewitter häufiger auftreten, Leitungen und Apparate wohl überwachen und einer öfteren Prüfung unterwerfen; findet sich, daß irgend ein Apparat eine Beschädigung erlitten hat, so muß man ihn sofort durch einen neuen ersetzen: zu diesen Zwecken finden sich jetzt auf allen gut eingerichteten Hauptstationen die wichtigsten Theile des Telegraphen in doppelten Exemplaren vor, sodaß eine längere Unterbrechung des Be-

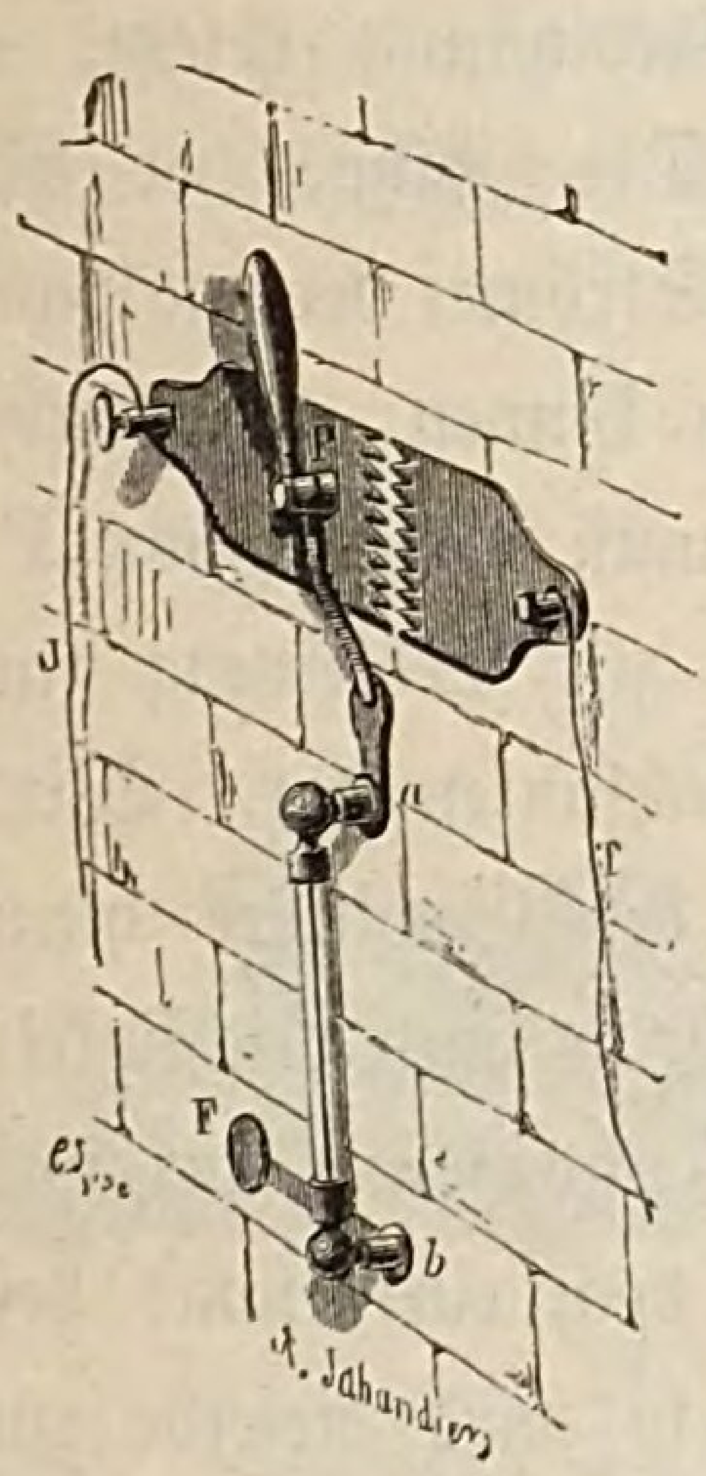


Fig. 361. Blitzableiter von Bréguet.

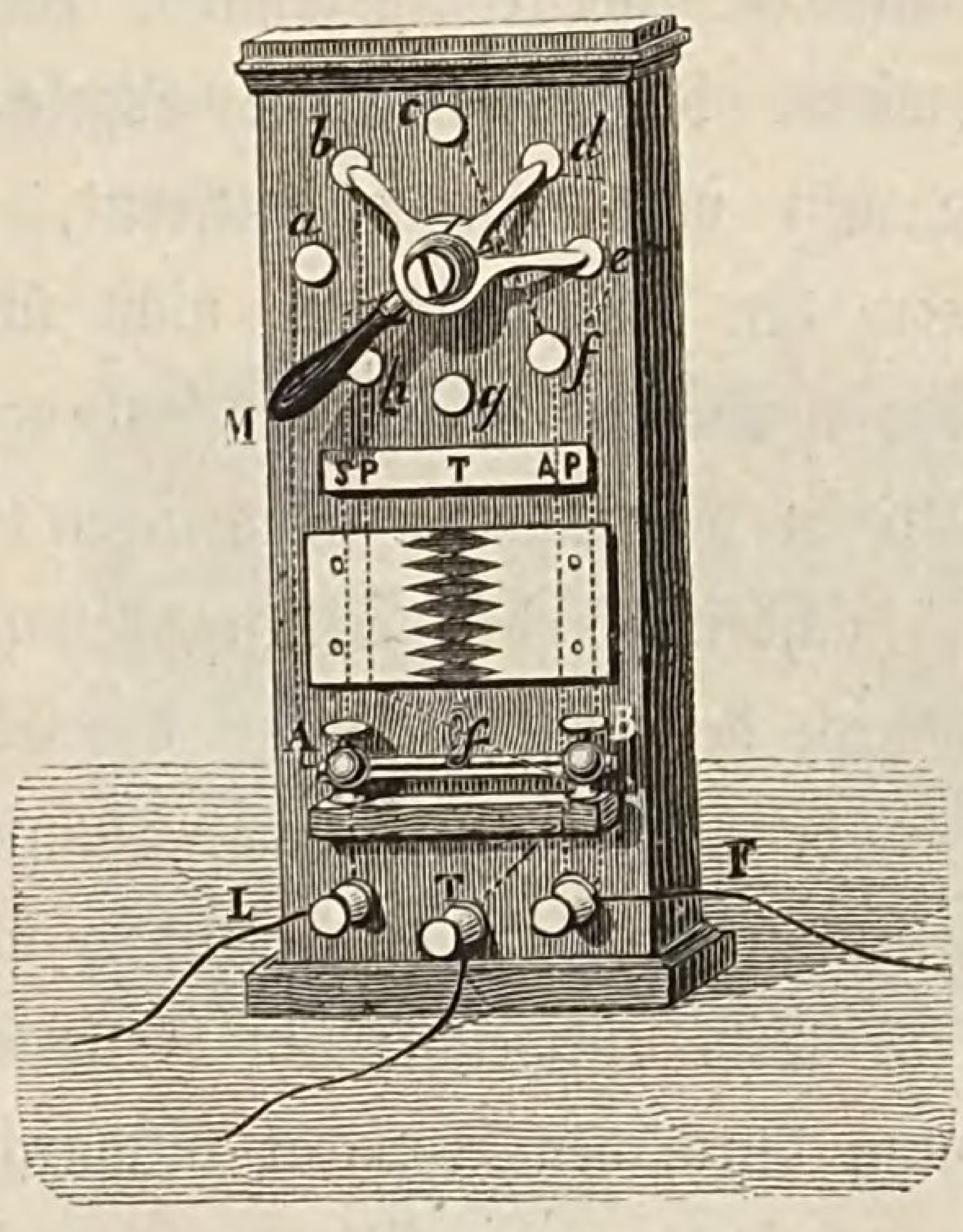


Fig. 362. Blitzableiter der französischen Linien.

triebes nur noch selten einzutreten braucht. Als man in den ersten Zeiten, in denen die Telegraphen in Thätigkeit gesetzt wurden, noch keine Vorkehrungen getroffen hatte, welche vor dergleichen Unfällen wenigstens die Station und das Leben der Beamten zu schützen bestimmt sind, kam es mehrfach vor, daß zwischen den einzelnen Theilen der Apparate heftige Funken übersprangen, welche einzelne Stücke losrissen und weit hinweg schleuderten, sobald nur in der Ferne eine Gewitterwolke über die Leitung hinweg zog. Um dergleichen Unfälle möglichst zu vermeiden, versieht man jetzt jede Station mit kleinen Nebenapparaten, welche man als **Blitzableiter** bezeichnet; wir wollen von diesen Apparaten einige Beispiele besprechen.

Durch große Einfachheit zeichnet sich der Blitzableiter aus, den Bréguet

construiert hat (Fig. 361): derselbe besteht aus zwei Metallplatten, deren Ränder gezahnt sind und die so außerhalb am Hause angebracht sind, daß die Zähne entsprechend einander gegenüber stehen. An der einen Platte ist der Draht der Leitung befestigt und zugleich auch ein metallischer Hebel P, welcher in unserer Zeichnung so gestellt ist, daß er eine Verbindung zwischen der Platte und dem Knopfe a herstellt. Von a aus geht innerhalb einer Glasröhre ein feiner Eisendraht zum Knopfe b, welcher bei F mit dem Drahte in Verbindung steht, der zum Apparate innerhalb der Station führt. Das andere Ende dieses Drahtes ist dagegen mit der zweiten gezahnten Platte in Verbindung gesetzt, welche selbst wieder bei T zur Erde abgeleitet ist. Die Zähne der Platten sind so weit von einander entfernt, daß die Ströme der galvanischen Batterien den Zwischenraum nicht überspringen können: langt also ein Strom von Auswärts auf der Leitung an, so muß derselbe von P über a und b in die Station eindringen und kann zur Erdleitung nur gelangen, nachdem er den Telegraphenapparat durchlaufen hat. Wird dagegen durch den Leitungsdraht die Elektricität des Gewitters hinzu geführt, so besitzt dieselbe solche Spannung, daß sie mit Leichtigkeit den Zwischenraum zwischen den Spitzen überspringt und somit auf nächstem Wege zur Erde entweicht; im Falle aber, daß doch eine etwas heftigere Entladung durch den Apparat hindurch erfolgt, so wird dieselbe zunächst bewirken, daß der feine Eisendraht zwischen a und b schmilzt und damit ist der Apparat der Station aus der Leitung ausgeschaltet. Am besten ist es jedoch, wenn vor Ausbruch des Gewitters, während dessen sich das Telegraphieren ohnedies verbietet, der Hebel P so gedreht wird, daß er die beiden gezahnten Platten mit einander verbindet und dadurch für die atmosphärische Elektricität den nächsten Weg zur Erde herstellt, den Telegraphenapparat aber aus der Leitung ausschaltet.

Auch der in Fig. 362 dargestellte Blitzableiter, der auf den französischen Telegraphenlinien am häufigsten angewendet wird, wirkt in ähnlicher Weise, nur ist es möglich durch Umdrehung des Commutators M, welcher in drei Spitzen endigt, die Verhältnisse noch mehrfach abzuändern. Stellt man nämlich die mittlere Spitze auf den Knopf d, wie es in der Figur angedeutet ist, so gelangt der bei L eindringende Strom durch Leitungen, deren Lage in der Figur durch punktierte Linien angedeutet ist, unmittelbar zum Drahte F, welcher zum Apparate führt.

Dreht man den mittleren Arm dagegen auf b, so geht der Strom erst zu der einen der gezahnten Platten und dann erst durch einen feinen Eisendraht, der zwischen A und B gespannt ist; wird endlich der mittlere Arm auf c gestellt, so ist die Leitung mit der Erde in directe Verbindung gesetzt. Man giebt dem Apparate die erste Stellung, wenn kein Gewitter zu erwarten ist, die zweite bei herannahendem und die dritte bei ausgebrochenem Gewitter.

Bei dem in Deutschland sehr verbreiteten Blitzableiter von Siemens und Halske und bei dem besonders in Belgien eingeführten, welche beide wir in Fig. 363 und 364 darstellen, ist das Princip des Ueberströmens der Elektricität zwischen Spitzen aufgegeben, dafür aber der Umstand zur

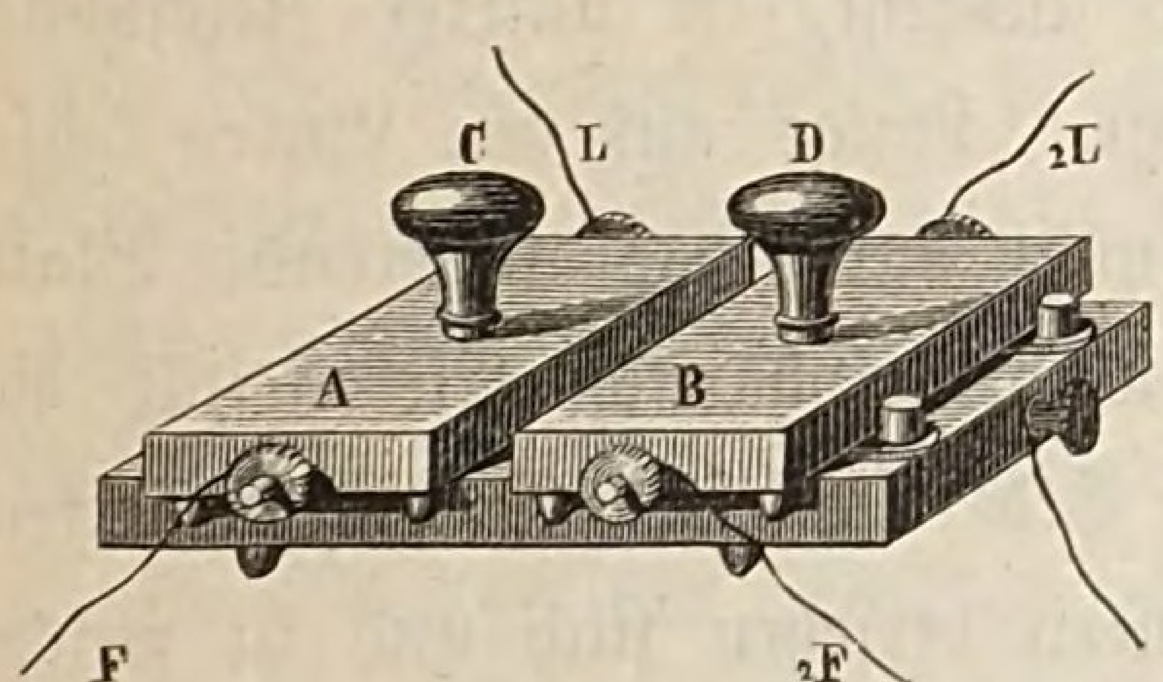


Fig. 363. Blitzableiter von Siemens und Halske.

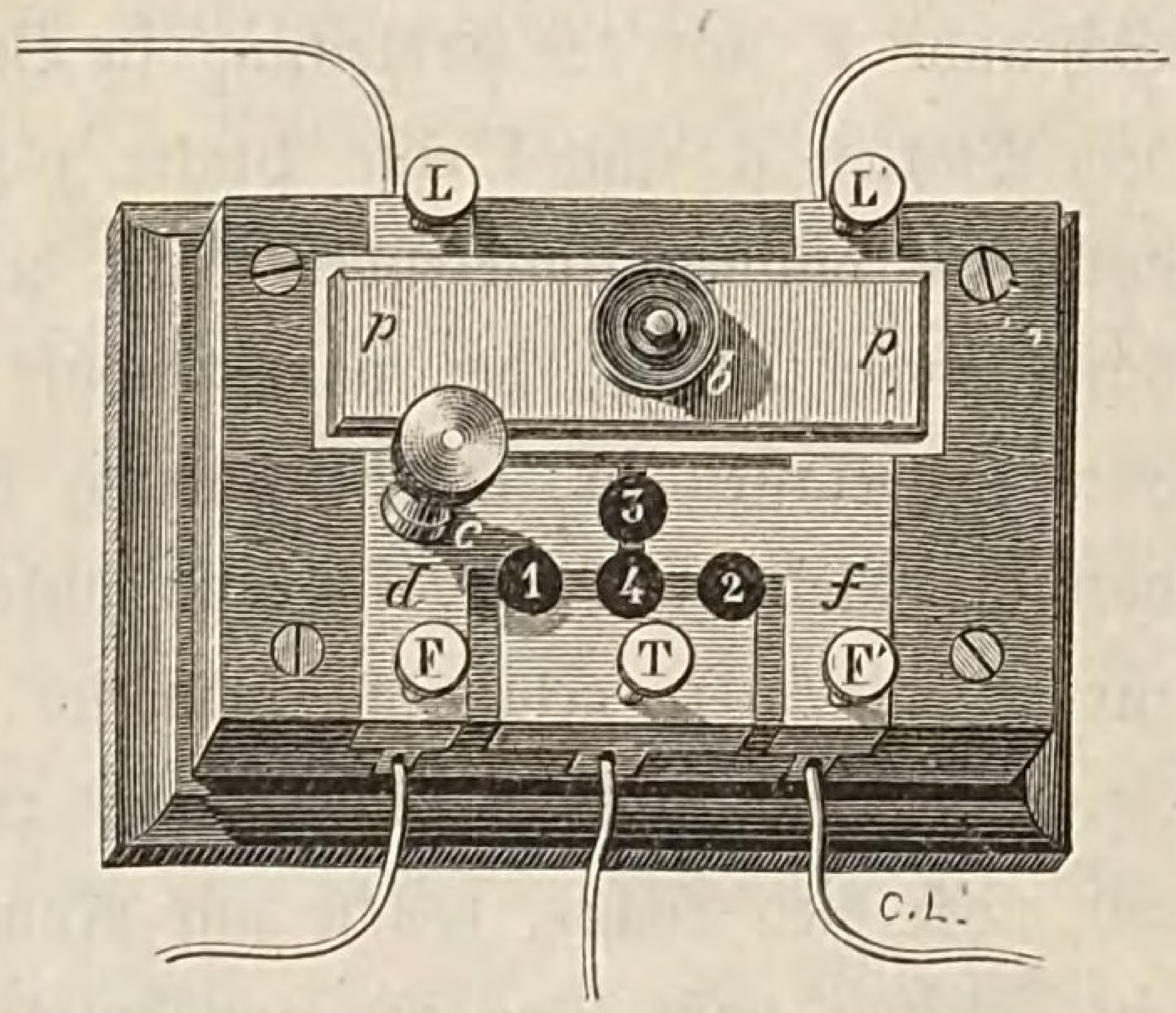


Fig. 364. Blitzableiter der belgischen Linien.

Anwendung gebracht, daß die Elektricität der galvanischen Batterien nur außerordentlich geringe Spannung hat und deshalb sehr dünne isolierende Schichten nicht zu durchbrechen vermag, während die stark gespannte atmosphärische Elektricität eher einen Isolator durchbricht, als daß sie die ganze Leitung durch den Apparat durchläuft. Der Blitzableiter von Siemens und Halske (Fig. 363) besteht aus einer Platte aus Gußeisen, welche zur Erde abgeleitet ist und auf welcher zwei kleinere Platten A und B ruhen, die durch isolierende Füße gestützt sind und überall der Bodenplatte sehr nahe kommen ohne sie jedoch an irgend einem Punkte zu berühren. In jede dieser Platten mündet einerseits bei L die Leitung welche von der einen der benachbarten Stationen kommt, während andererseits bei F der Draht zu dem entsprechenden Indicator von ihr ausgeht. Treffen galvanische Ströme von Auswärts in der einen dieser Platten

ein, so sind dieselben nicht im Stande die dünne Luftschicht zwischen ihr und der Bodenplatte zu durchbrechen, sondern sie nehmen ihren Weg durch den Telegraphendraht F weiter; atmosphärische Elektricität dagegen überspringt mit Leichtigkeit den Zwischenraum und fließt zur Erde ab ohne die Apparate zu beschädigen.

Bei dem auf den belgischen Linien eingeführten Blitzableiter (Fig. 364) bemerken wir zunächst zwei Platten d und f, welche einerseits bis zu den Schrauben L und L′, an denen die Leitungsdrähte nach den beiden benachbarten Stationen befestigt sind, andererseits bis zu den Schrauben F und F′ reichen, von denen die Drähte nach den Telegraphenapparaten ausgehen. Ein dritter, metallischer Einsatz zwischen beiden ist durch die Schraube F mit der Erdleitung in Verbindung. Endlich liegt noch über den Platten d und f eine Platte p p quer herüber, welche von jenen durch ein dünnes isolierendes Blatt getrennt ist, mit der Erdleitung aber durch einen Draht, der vom Knopfe b ausgeht, in unserer Zeichnung aber weggelassen ist, in Verbindung steht. Langt auf den Linien galvanische Elektricität an, so kann diese nicht durch das isolierende Blatt zur Platte p p gelangen, während die atmosphärische Elektricität die Isolation sehr leicht durchbricht und zur Erde abfließt. Endlich bemerken wir noch vier Löcher, welche mit Nummern versehen sind und in welche ein Stift c paßt, der für gewöhnlich an der Seite in einer Oeffnung der Platte d steckt. Ist die Leitung nach Links durch ein Gewitter gefährdet, so steckt man diesen Stift in die Oeffnung 1 und leitet dadurch die Platte d direct zur Erde ab; ebenso wird er in die Oeffnung 2 befestigt, wenn die rechte Seite vom Gewitter berührt wird, zieht das Gewitter über der Station selbst hinweg, sodaß beide Leitungen betroffen werden können, so steckt man den Stift in die Oeffnung 4 und leitet dadurch gleichzeitig beide Leitungen ab. Endlich in die Oeffnung 3 wird der Stift gesteckt, wenn eine Depesche nur durch die Station hindurch gehen soll, sodaß dieser Blitzableiter zugleich die Stelle eines Commutators vertritt.

§ 4. Das Telegraphennetz der Erde.

Welchen ungeheuren Einfluß die elektrische Telegraphie auf den gesammten Verkehr gewonnen hat, mag es sich um private oder öffentliche Interessen, um geschäftliche Beziehungen oder um Fragen handeln, welche für ganze Völkerschaften von Wichtigkeit sind, bedarf wohl kaum der Erwähnung: wohl nur wenige Zweige der Physik haben binnen verhältnißmäßig kurzer Zeit durch ihre Anwendung einen so gewaltigen Umschwung hervorgebracht, und damit in so auffälliger Weise bewiesen, bis zu welchem Grade die Erfindungsgabe des Menschen Raum und Zeit zu überwinden versteht, als die elektrische Telegraphie. Anfänglich auf den Dienst der Behörden, auf die Beförderung staatlicher Mittheilungen beschränkt, hat sie doch erst ihre volle Entwickelung gefunden, seitdem man die Nothwendigkeit erkannt hat, dieses wichtige Verkehrsmittel auch den Privatinteressen zu erschließen; seit jener Zeit hat sich die Benutzung des Telegraphen in ganz wunderbarer Weise ausgedehnt und wächst noch täglich in demselben Maße, in welchem sich die Zahl der Stationen vergrößert; während man noch vor fünfundzwanzig Jahren die in den einzelnen Ländern jährlich aufgegebenen Depeschen nur nach Tausenden zählen durfte, steigen dieselben jetzt bis in die Millionen.

Was Privatinteressen anlangt, so wollen wir, abgesehen von allen familiären Beziehungen, nur auf den gewaltigen Umschwung hinweisen, den das gesammte geschäftliche Leben, Handel und Verkehr, Gewerbe und Fabrikation seitdem erfahren hat; auch die Dienste, welche der Telegraph der Entwickelung des staatlichen Lebens im Kriege und Frieden, der Verwaltung, der Handhabung der Polizei und in vielen anderen Beziehungen leistet, können nicht hoch genug veranschlagt werden. Nur auf den Nutzen wollen wir noch hindeuten, den die Wissenschaft aus der Benutzung der Telegraphen zieht: in ihm hat der Astronom ein Mittel die Längen der Sternwarten mit der höchsten Genauigkeit zu bestimmen, Entdeckungen neuer Gestirne, von Planeten und Kometen, binnen kürzester Zeit nach allen Weltgegenden hin anzuzeigen und damit Veranlassung zu geben, daß die Zahl der Beobachtungen dieser Körper eine weit größere wird, als dies früher möglich war. Die Meteorologie hat aber die gewaltigsten Umwandlungen erfahren, seitdem alltäglich von den

verschiedensten Theilen Europas zu bestimmter Stunde die Witterungsberichte ausgetauscht werden: dadurch können nicht allein gewaltige Störungen im Gleichgewichte der Atmosphäre, Stürme und damit zusammenhängende Hochfluthen auf meilenweite Entfernung hin voraus angekündigt werden zu Nutz und Frommen der gesammten Schifffahrt, sondern die auf solchem Wege gesammelten Erfahrungen haben erst die Möglichkeit gegeben, daß über die Gesetze, denen auch die Witterungsverhältnisse unterworfen sind, sich allmählich einige Klarheit verbreitet.

Der beste Beweis aber, in welchem Grade sich die Werthschätzung des Telegraphen gesteigert hat, liegt in der Entwickelung des Telegraphennetzes selbst und wir wollen jetzt hierüber einige kurze Mittheilungen anfügen. Noch vor zwanzig Jahren erreichten die Telegraphenlinien in Deutschland nur eine Länge von 8000 km und die Drähte, welche auf ihnen ausgespannt waren, 20000 km, sodaß im Mittel die Drahtleitungen nur 2—3fach waren: jetzt hat Deutschland 50000 km Stangenlinien mit 185000 km Draht, sodaß also die Ausdehnung über sechsmal so groß geworden ist und auch die Bespannung mit Draht auf das Drei- bis Vierfache gestiegen ist. Die Landlinien der ganzen Erde haben eine Länge von 617000 km, die Drähte aber von 1600000 km und zwar kommen von der ersteren Zahl 350000 auf Europa, 180000 auf Amerika, 45000 auf Asien, 30000 auf Australien und 12000 auf Afrika. Außerdem sind dem Verkehre 569 Kabel eröffnet und zwar stehen 420 Kabel mit einer Gesammtlänge von 4442 Seemeilen unter der Verwaltung von meist europäischen Staaten, während sich 149 Kabel mit einer Länge von 59558 Seemeilen im Besitze von Privatgesellschaften befinden. Die Zahl der Apparate beträgt 55000, von denen 41000 nach Morse'schem, 800 nach Hughes'schem Systeme eingerichtet und 13200 von verschiedener Construction sind.

Um eine Vorstellung von der Menge der Depeschen, die in einer bestimmten Zeit befördert werden, zu geben, wollen wir nur erwähnen, daß nach den statistischen Angaben von W. Huber im Jahre 1870 auf den englischen Telegraphenlinien allein 10200000 Depeschen befördert worden sind, sodaß auf jede Woche über 200000 kommen. Als am 18. Juli 1870 Frankreichs Kriegserklärung in London bekannt wurde, sind an diesem einen Tage durch die Centralstation dieser Stadt 20592 Depeschen befördert worden. Im Jahre 1871 wurden auf den indischen



Lith. Anst. v. H. Arnold, Leipzig.

TELEGRAPHENNETZ

LANDLINIEN UND



Verlag von Paul Frohberg, Leipzig.

F DER ERDOBERFLÄCHE

UBMARINE LINIEN.

Telegraphen 33,000 Depeschen befördert und trotz des ziemlich hohen Preises trugen in demselben Jahre die transatlantischen Kabel 240,000 Depeschen über den Ocean.

Diese statistischen Angaben sollen nur als Beispiel dienen um zu zeigen, welchen gewaltigen Aufschwung das Telegraphenwesen in den verschiedenen Theilen der Erde genommen hat: als ein weiteres Zeichen für seine Entwickelung geben wir in Tafel XV eine Uebersicht der wichtigsten Verbindungslinien, welche gegenwärtig den Verkehr zwischen den einzelnen Erdtheilen vermitteln. Von den Telegraphenlinien im Innern der Festländer haben wir nur die wichtigsten aufgenommen und namentlich diejenigen, durch welche die Verbindung zwischen den unterseeischen Linien hergestellt wird, weil sonst das Netz leicht seine Uebersichtlichkeit verlieren würde. Wir sehen, daß fünf Kabel die Verbindung der alten und neuen Welt herstellen: zwei derselben gehen von der Insel Valentia, die zu Ireland gehört, aus und führen nach New-Foundland, der Zeit nach ein drittes beginnt in Brest in der Bretagne und führt nach den Inseln Saint-Pierre und Miquelon, französische Besitzungen südlich von New-Foundland, von denen aus dann weiter die Verbindung mit dem Festlande hergestellt ist. Ein viertes Kabel führt unmittelbar vom Cap Landsend, der Westspitze von Cornwales, nach Halifax, der Hauptstadt von Neu-Schottland, welche selbst wieder mit New-York in Verbindung steht, und endlich ist noch eine telegraphische Verbindung zwischen Portugal, Madeira, den Inseln des grünen Vorgebirges und dem Cap Roque hergestellt.

Indien ist mit Europa durch zwei Linien verbunden: die eine verfolgt die Küste des rothen Meeres, geht dann in das mittelländische Meer über, wo sie sich in mehrere Zweige spaltet, die nach Sicilien, Italien und Frankreich führen um dort den Anschluß nach England zu gewinnen; ein anderer Zweig führt durch die Straße von Gibraltar nach der Küste von Portugal und schließt sich dort an das Kabel an, welches von dieser Stelle aus nach der Südwestspitze von England gelegt ist. Die andere indische Linie dagegen durchzieht den persischen Meerbusen und gewinnt an dessen Ende den Anschluß an die Linien, welche einerseits durch Syrien und Kleinasien, andererseits durch Rußland in das Innere von Europa führen. An das indische Telegraphennetz schließen sich endlich weitere Zweige an, die nach China und bis nach Australien

und in neuester Zeit von dort aus sogar bis nach Neu-Seeland hinüber führen, sodaß jetzt unter günstigen Umständen eine Depesche z. B. von Sidney über Europa nach New-York und von dort aus auf der Landlinie nach San Francisko in weniger als einer Stunde befördert werden kann: dieselbe durchläuft dabei einen Bogen um die Erde von etwa 270° und legt einen Weg von über 30,000 Km. zurück. Als Beweis für die Schnelligkeit, mit welcher die Depeschen befördert werden können, wollen wir aus dem Berichte, den Huber von der Eröffnung des australischen Kabels giebt, folgende Stelle mittheilen: „Am letzten 12. Nov. (1872) vereinigte ein Festmahl in demselben Augenblicke in London und in Adelaide alle diejenigen, welche sich bei dieser großen Linie von 35852 Km. Länge, wovon 28 Km. auf das eine unterseeische Kabel der transaustralischen Linie kommen, betheiligt hatten. In London war ein Telegraphenapparat hinter dem Stuhle des Präsidenten aufgestellt worden. Bei Eröffnung des Festmahles wurde eine Glückwunschdepesche nach Australien abgesendet und am Ende desselben traf die Antwort aus Adelaide ein.“

Prüfen wir die Karte, so erkennen wir leicht, daß noch eine weite Lücke im Umfange der Erde besteht, die zur Zeit noch nicht in das Netz hineingezogen ist: noch stehen Amerika und Asien nicht in directer telegraphischer Verbindung, allein es sind schon vier Linien, von denen zwei vollständig unterseeisch verlaufen, projectiert. Es steht wohl zu erwarten, daß auch der große Ocean bald von elektrischen Strömen durchkreuzt wird, wie es der atlantische Ocean seit nunmehr 14 Jahren ist, wenn wir den ersten mißglückten Versuch nicht rechnen, und bald werden die Nachrichten in den Hauptstädten Europas von allen Seiten und von den entlegensten Punkten der Erdoberfläche direct eintreffen. Doch auch noch in einer ganz andern Beziehung darf man der Vollendung des Telegraphennetzes mit großen Erwartungen entgegen sehen, nämlich in rein wissenschaftlicher: ist es einmal gelungen eine isolierte Leitung rings um die Erde herzustellen, so wird es möglich sein durch dieselbe mancherlei Aufschlüsse über die Ströme, welche im Innern der Erde circulieren und derselben ihre magnetischen Eigenschaften ertheilen, sich zu verschaffen.

Fünftes Kapitel.

Elektrische Zeitmesser und Fernsprecher.

§ 1. Elektrische Uhren.

Die außerordentliche Geschwindigkeit, mit welcher sich die elektrischen Ströme fortpflanzen und durch welche sie bewirken, daß zwei gleichmäßig gebaute und durch einen Leitungsdraht verbundene Mechanismen fast absolut gleichzeitig dieselbe Bewegung ausführen, hat schon früh Versuche veranlaßt, welche zum Ziele hatten das Princip der elektrischen Telegraphie auf die Regulierung der Uhrwerke zu übertragen. Und in der That ist es gelungen eine Reihe von Uhrzeigern mehrerer Zifferblätter, die an verschiedenen Punkten z. B. an den Stationen einer Bahn oder auf den öffentlichen Gebäuden einer Stadt aufgestellt sind, in genau übereinstimmenden Gang zu versetzen, indem man sie ihre Bewegung durch die Einwirkung elektrischer Ströme ausführen ließ, deren Verlauf durch ein einziges gut gehendes Uhrwerk reguliert wird. Aber auch die weitere Aufgabe die Elektricität als treibende Kraft für das regulierende Uhrwerk selbst anzuwenden ist mit Erfolg behandelt worden, und streng genommen dürften nur die Instrumente der letzteren Art mit dem Namen von *elektrischen Uhren* bezeichnet werden; in Deutschland ist es aber Gebrauch denselben Namen auch auf die Apparate erster Art anzuwenden. Wir wollen diesem Brauche folgen und die Uhren der zweiten Art, die wir im nächsten Paragraphen besprechen, *durch Elektricität getriebene Uhren* nennen. Endlich hat man den elektrischen Strom noch benutzt um den Gang von mehreren Uhrwerken, von denen jedes seinen besonderen Mechanismus besitzt und durch seine besondere treibende Kraft bewegt wird, in genaue Uebereinstimmung zu bringen z. B. durch ein Verfahren, wie wir es bei Gelegenheit des Pantelegraphen von Caselli kennen gelernt haben.

Wie bei den Telegraphenapparaten hat man auch bei den elektrischen Uhren sehr verschiedene Constructionen angewendet und wir müssen uns daher begnügen einzelne derselben herauszugreifen und der Betrachtung zu unterwerfen, wobei wir uns auf solche beschränken, die sich durch ihre

Einfachheit auszeichnen und die sich in der Praxis bewährt haben. Beginnen wir mit den elektrischen Uhren der ersten Art, so bestehen dieselben wie jeder Telegraphenapparat aus zwei Haupttheilen: zunächst befindet sich an dem Uhrwerke, welches den Gang der Zeiger regulieren soll, eine Vorrichtung, welche den Strom einer galvanischen Batterie in gleichmäßigen Zwischenräumen schließt und wieder unterbricht; der zweite Theil, der dem Indicator der Telegraphen entspricht, besteht aus den Zifferblättern an denen die Zeiger durch eben diese Ströme weiter bewegt werden. Betrachten wir die Einrichtung dieser Theile zuerst an der elektrischen Uhr von Garnier (Fig. 365, 366 und 367).

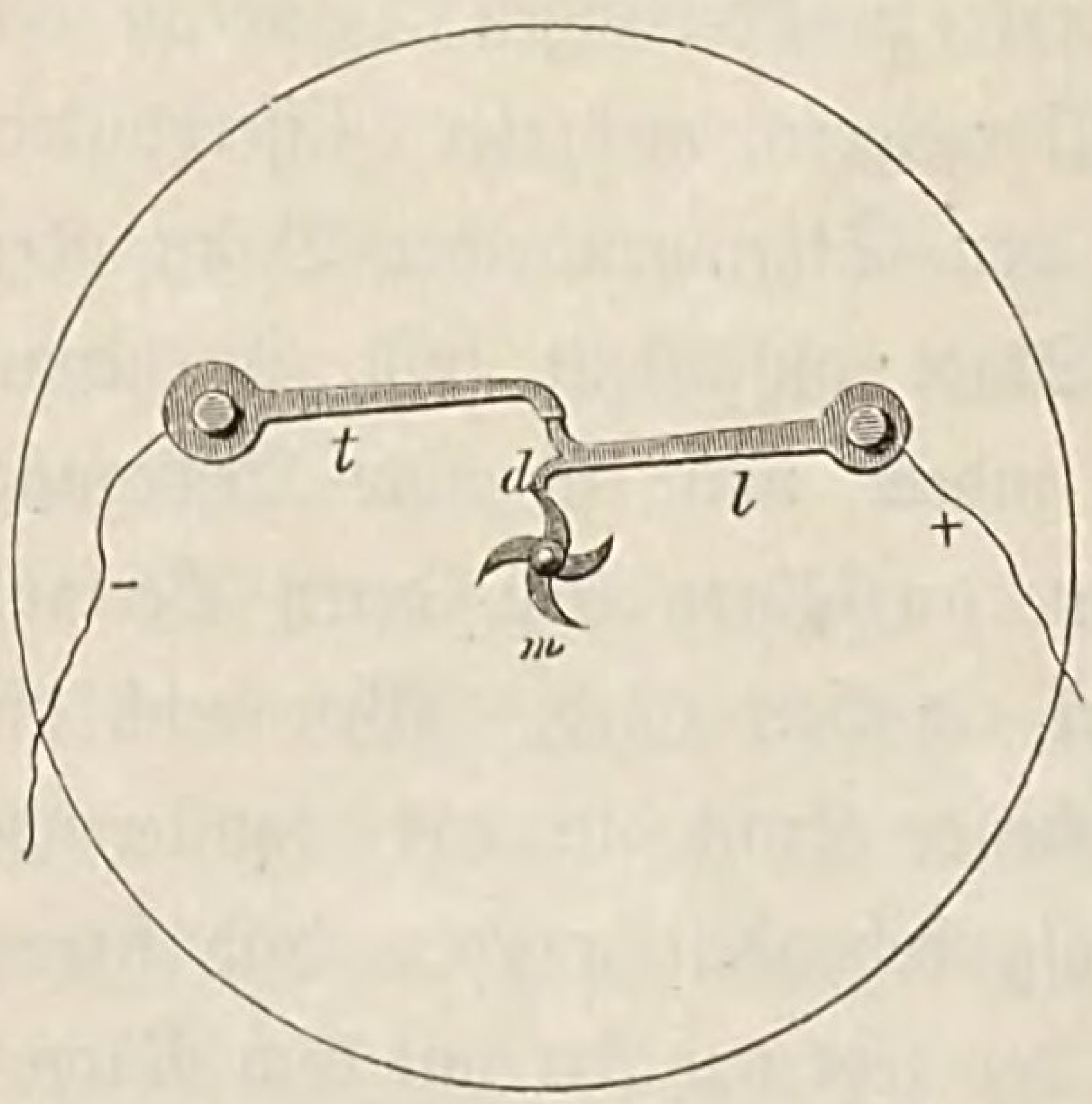


Fig. 365. Stromschließer der elektrischen Uhr von Garnier.

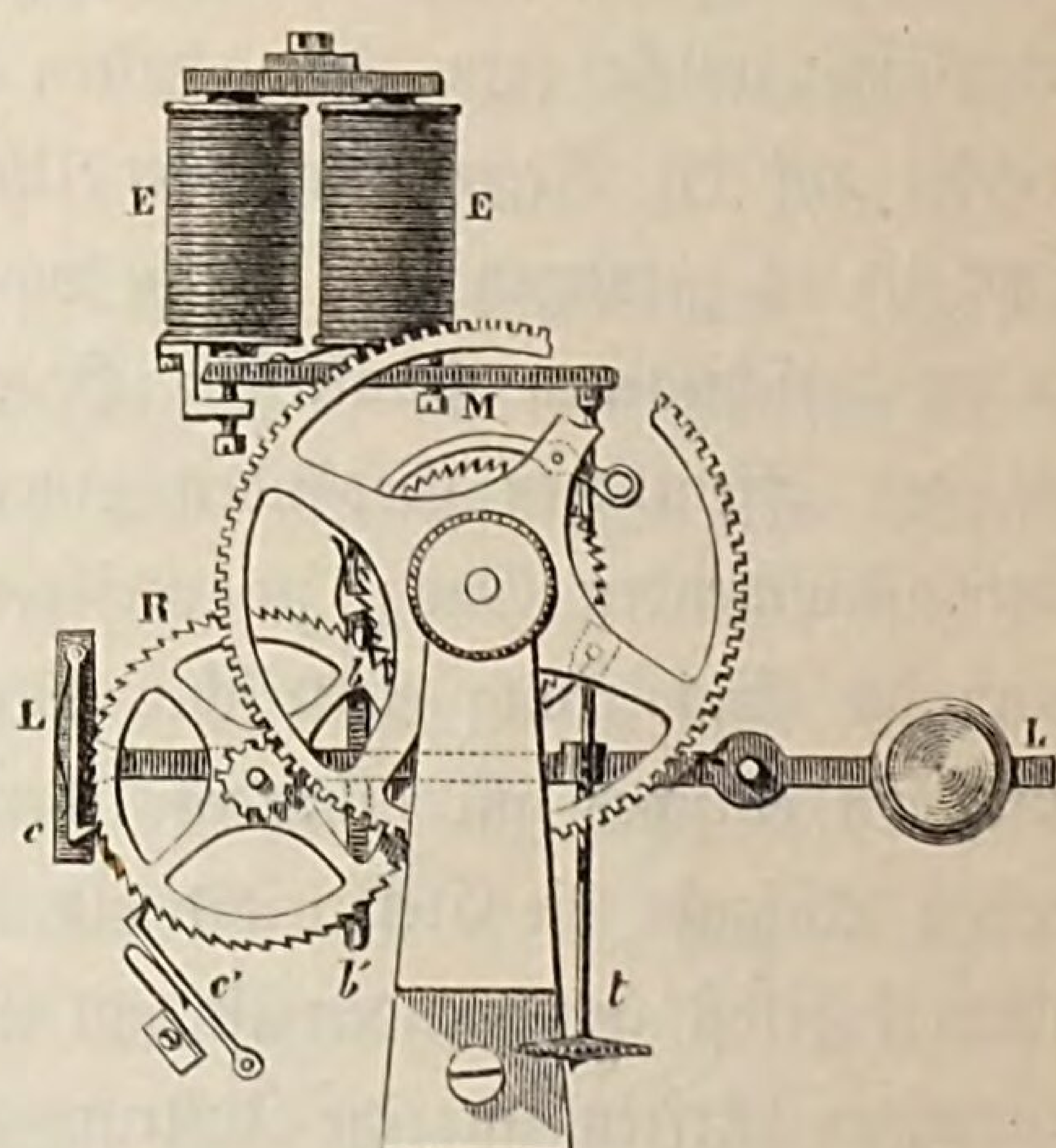


Fig. 366. Zeichengeber der elektrischen Uhr von Garnier.

Die Vorrichtung, durch welche der elektrische Strom nach bestimmten Zeitintervallen geschlossen und wieder geöffnet wird, besteht bei diesem Apparate aus einem Rädchen m von vier Zähnen, welches auf der Axe des Triebrades eines gewöhnlichen Uhrwerkes aufsitzt (365). Während der Umdrehung heben diese Zähne den Hebel l aus, indem sie den Haken d in die Höhe schieben, und lassen ihn darauf wieder fallen; beim Heben wird der Strom geschlossen, indem sich der Hebel l gegen den Stab t legt, welche beide mit den Poldrähten in Verbindung stehen; beim Herabfallen erfolgt dagegen gleichzeitig die Unterbrechung des Stromes. Damit die Flächen der beiden Hebel an der Stelle, wo sie mit einander in Berührung kommen, nicht rosten können, sind auf sie Blättchen

gelöthet, die aus einer Legierung von Gold und Platin bestehen. Sobald nun die Kette geschlossen ist, geht der Strom vom Hebel t aus durch einen Leitungsdraht zu den Elektromagneten E (Fig. 366) der Zifferblätter, deren Zeiger durch die Ströme weiter bewegt werden sollen, und es wird nun der Anker M angezogen, welcher vermittelst des Stabes t den Hebel L in Bewegung setzt. Dieser Hebel trägt auf der einen Seite ein Gewicht, welches ihn immer wieder in die Ruhelage zurückzieht, auf der andern aber einen Sperrhaken c, der ein Steigrad R um einen Zahn weiter treibt, so oft der Anker angezogen wird: zwei andere Sperrhaken b und b′ verhindern, daß dieses Steigrad bei einer Bewegung des Hebels um mehr als einen Zahn weiterrückt oder, daß es sich in entgegengesetzter Richtung bewegt. Ein Getriebe, welches an dem Steigrade festsitzt, greift weiter in ein Räderwerk ein, das die Bewegung schließlich auf die Zeiger der Zifferblätter überträgt.

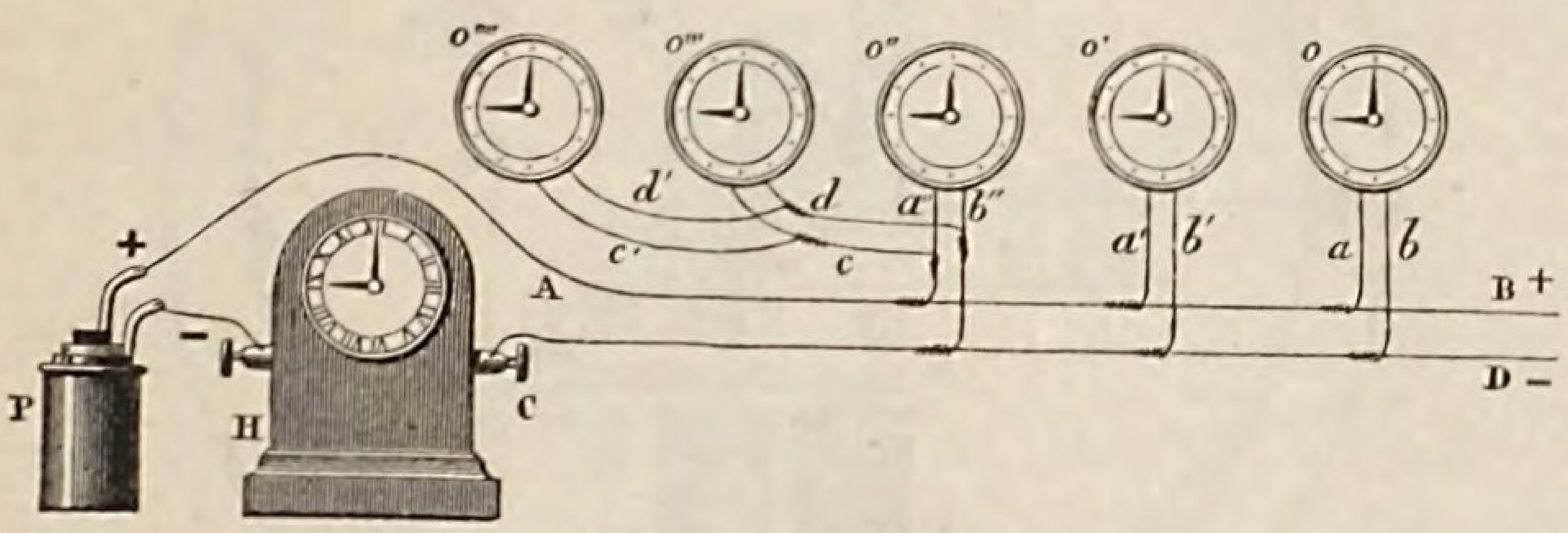


Fig. 367. System von elektrischen Uhren, welche durch dieselbe Normaluhr bewegt werden.

Damit eine etwaige Störung in dem einen der Zeigerwerke, die durch dieselbe Normaluhr unter Vermittelung der elektrischen Ströme in Bewegung versetzt werden, nicht auch alle andern zum Stillstehen bringt, leitet man den galvanischen Strom nicht aus einem Werke in das andere, sondern man läßt ihn von der Batterie P (Fig. 367) aus durch einen starken Kupferdraht AB neben allen Uhrwerken vorbei gehen und durch einen zweiten Draht CD, der dicht neben den ersten liegt zur Normaluhr H und von dort aus zur Batterie zurückkehren. Für jedes einzelne Zeigerwerk o, o′, o″ . . . zweigt man einen Draht ab, a′b′, a″b″ . . . . von dieser Hauptleitung ab, sodaß zu jedem einzelnen Werke immer nur ein Zweigstrom vom Hauptstrome gelangt. Auch von diesen Nebenleitungen kann man Leitungen zu einzelnen Zeigerwerken abzweigen, wie in der Fig. bei o‴ und o″″ angedeutet ist. Der Mechanismus dieser Uhren setzt natürlich voraus, daß der Hebel L

horizontal liegt und sich in senkrechter Richtung auf und ab bewegt, damit das bei L angebrachte Gewicht ihn immer wieder in die vorige Lage zurückzieht: will man der Uhr eine andere Stellung geben, so muß man das Gewicht L durch eine Feder ersetzen, deren Spannung nach der Stärke des Elektromagneten zu regulieren ist.

Wenden wir uns nun zu der von Froment construierten elektrischen Uhr, so erwähnen wir zuerst, daß auch bei derselben Anfangs die Bewegung von einem gewöhnlichen Uhrwerke ausging, in dem nur noch ein Zahnrad so angebracht war, daß in jeder Sekunde der eine der

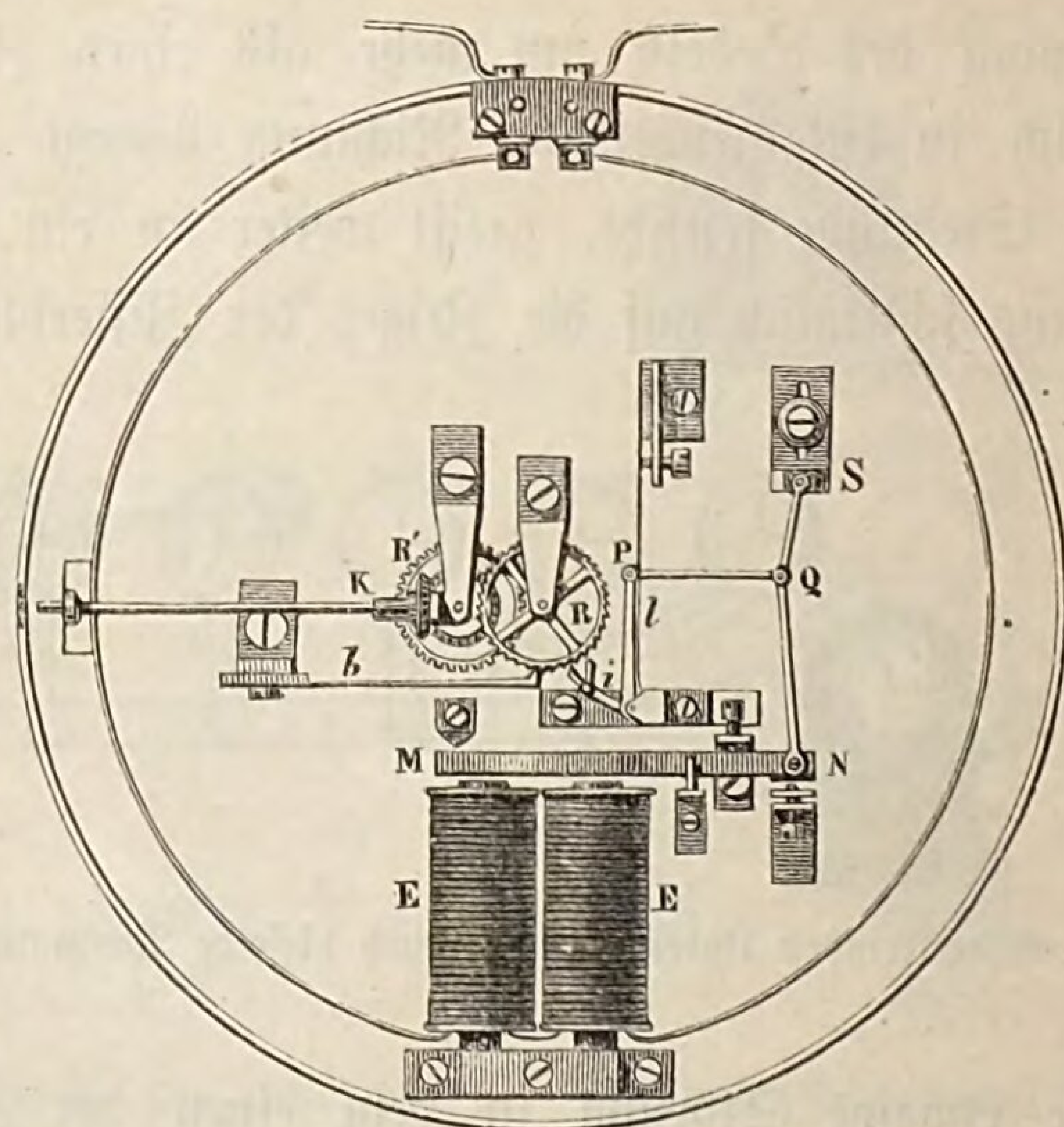


Fig. 368. Zeigerwerk der elektrischen Uhr von Froment.

Zähne gegen eine feste Feder stieß, die aus einem feinen Goldblättchen bestehend beim Zurückweichen den Stromkreis schloß: später hat Froment das gewöhnliche Uhrwerk durch einen elektrischen Regulator ersetzt, auf welchen wir im nächsten Paragraphen zu sprechen kommen. Eine größere Abweichung bemerken wir dagegen an dem Zeigerwerke (Fig. 368): wir sehen daselbst zunächst den Anker MN, welcher vom Elektromagneten E angezogen wird, sobald der Strom eintrifft, welchen aber das Gewicht N bei Unterbrechung des Stromes in seine vorige Lage zurückführt. Bei dieser Bewegung verschiebt sich das Hebelsystem SPQN, indem das Gelenk bei Q einknickt und dadurch den Stab QP nach Links schiebt: an letzterer Stelle wird durch diese Bewegung der Winkelhebel Pi

verschoben und dabei das Steigrad R durch den Sperrhaken i um einen Zahn weitergerückt. Die weitere Uebertragung der Bewegung auf die Zeiger erfolgt durch das Zahnrad R' und die Axe K, während die rückgängige Bewegung durch den Sperrhaken b gehindert wird. Der Zweck dieser etwas complicierten Einrichtung besteht darin, daß die Ungleichmäßigkeit der Anziehung, welche der Elektromagnet ausübt, ausgeglichen wird: je mehr sich nämlich der Anker dem Elektromagneten

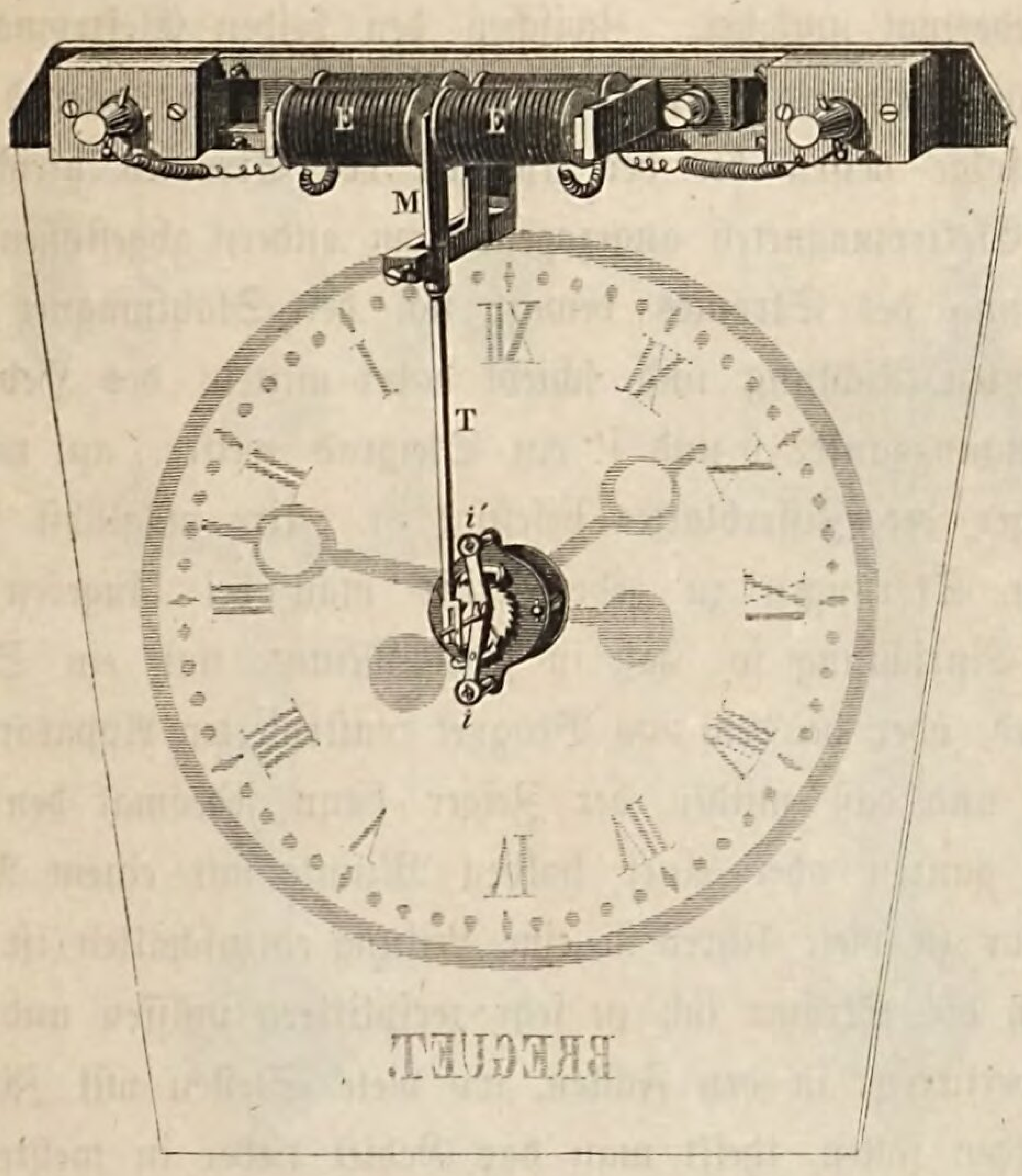


Fig. 369. Elektrische Uhr mit durchsichtigem Zifferblatte.

nähert, desto stärker wird er angezogen, desto stärker wird aber auch eine Feder l, welche gegen den Winkelhebel P i drückt, gespannt und dadurch das Gleichgewicht, welches für den regelmäßigen Gang erforderlich ist, wieder hergestellt.

Man kann bei den elektrischen Uhren viel leichter als bei gewöhnlichen Uhrwerken die Einrichtung treffen, daß man durchscheinende Zifferblätter anwendet, hinter welchen während der Nacht Gasflammen entzündet werden, sodaß sich die Zeit an ihnen schon aus großer Entfernung ablesen läßt. In Fig. 369 geben wir die Abbildung einer solchen

Uhr, wie sie von Bréguet construiert wurde, bei welcher wir sofort bemerken, daß das Treibwerk nur einen sehr geringen Raum für sich in Anspruch nimmt und daher auch der Erleuchtung des Zifferblattes nur in geringem Umfange hinderlich ist. Der Strom, der von dem regulierenden Uhrwerke ausgesendet wird, geht durch die beiden Elektromagneten E und E′, welche mit entgegengesetzten Polen einander gegenüberstehen, und zwar verlaufen je zwei auf einander folgende Ströme immer in entgegengesetzter Richtung, sodaß sich auch der Magnetismus der Pole jedesmal umkehrt. Zwischen den beiden Elektromagneten befindet sich ein hufeisenförmiger Stahlkörper M, welcher dauernd magnetisch ist und infolge dessen bei der Ankunft des Stromes gleichzeitig von dem einen Elektromagneten angezogen, vom andern abgestoßen wird: bei der Umkehrung des Stromes bewegt sich der Stahlmagnet M in der entgegengesetzten Richtung und schiebt dabei mittels des Hebels T und zweier Hemmungsanker i und i′ ein Steigrad weiter, an welchem der Minutenzeiger des Zifferblattes befestigt ist. Um möglichst wenig Gelegenheit zu Störungen zu geben trifft man bei längeren Leitungen häufig die Einrichtung so, daß in jeder Minute nur ein Strom ausgesendet wird, oder bei dem von Bréguet construierten Apparate höchstens deren zwei, und daß mithin der Zeiger dann jedesmal den Zwischenraum einer ganzen oder einer halben Minute mit einem Male überspringt. Gar zu viele Uhren in eine Leitung einzuschalten ist bedenklich, weil dadurch die Ströme sich zu sehr zersplittern müssen und damit an Intensität verlieren; in den Fällen, wo viele Stellen mit Zifferblättern versorgt werden sollen, theilt man das Gebiet lieber in mehrere Abtheilungen und stellt für jeden einen besonderen Regulator auf.

§ 2. Durch Elektricität getriebene Uhren.

Wie wir im ersten Buche ausführlich gezeigt haben, wirkt bei den gewöhnlichen Pendeluhren als treibende Kraft in der Regel nur die Schwere, welche ein Gewicht herabzieht und dabei nicht allein die Zeigeraxe in Umdrehung versetzt, sondern zugleich auch dem am Pendel befestigten Anker mittels der schräg gestellten Zähne des Steigrades bei jedem Ausschlage einen neuen Anstoß ertheilt und dadurch verhindert, daß das Pendel durch Reibung und Widerstand der Luft zur Ruhe

gebracht wird. So wie man nun aber schon seit langer Zeit an Stelle der Schwere als treibende Kraft die Spannung von Spiralfedern, die von Zeit zu Zeit von Neuem gespannt werden müssen, anwendet, so hat man auch versucht dieselben durch andere Kräfte, besonders durch die elektromagnetische Thätigkeit zu ersetzen; auf diese Weise ist man zur Construction von Uhren gelangt, die mit großer Regelmäßigkeit lange Zeit fortgehen, ohne daß man nöthig hätte sie von Neuem aufzuziehen, nämlich so lange als die Füllung der galvanischen Elemente

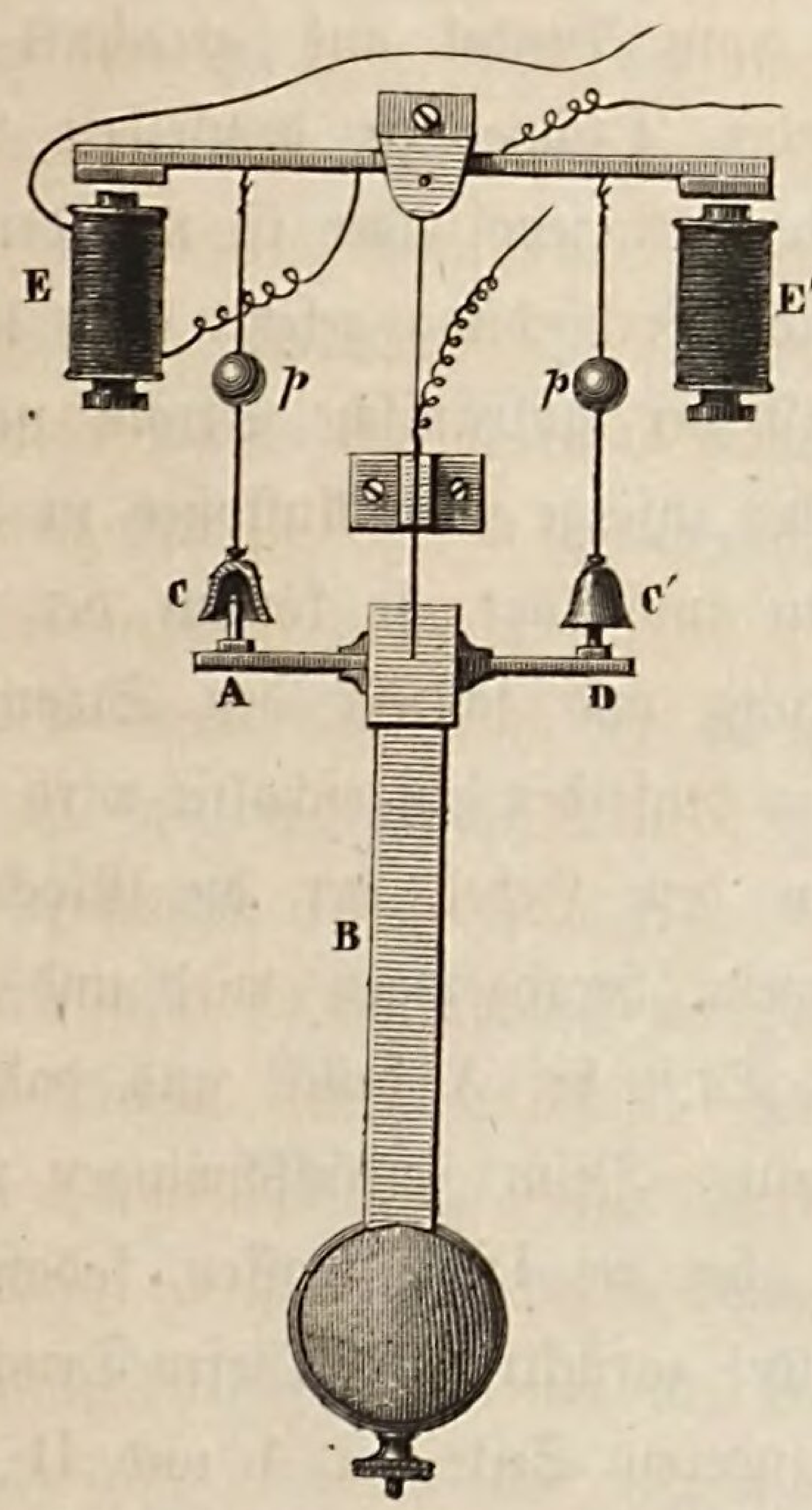


Fig. 370. Elektrische Uhr von Vérité.

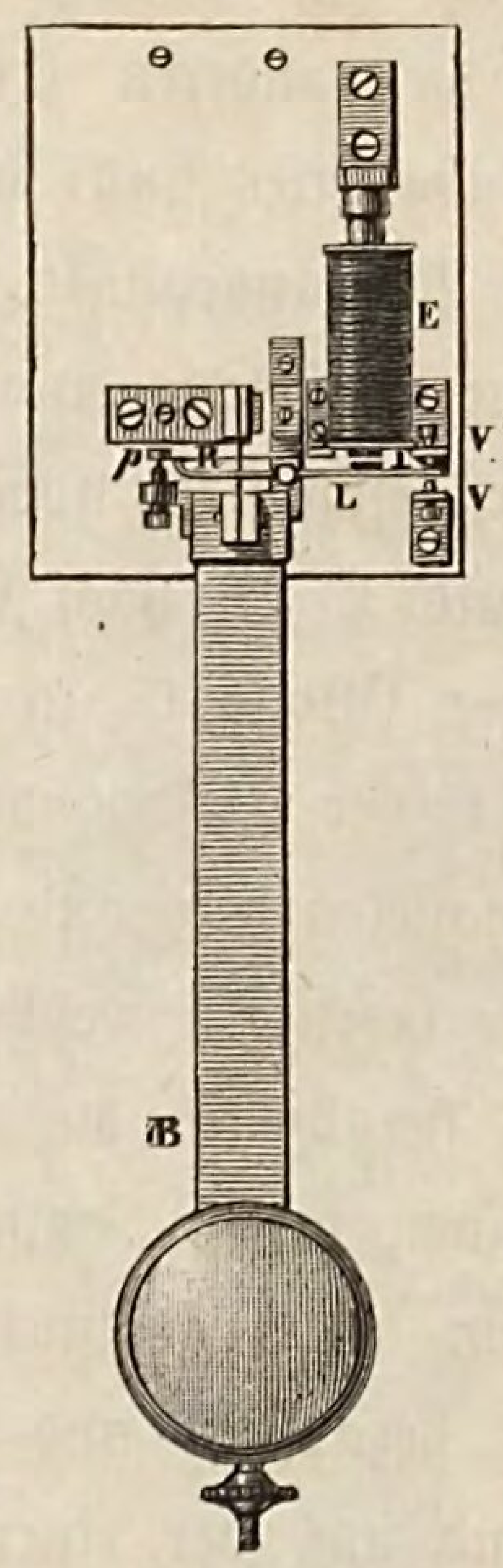


Fig. 371. Elektrische Uhr von Froment.

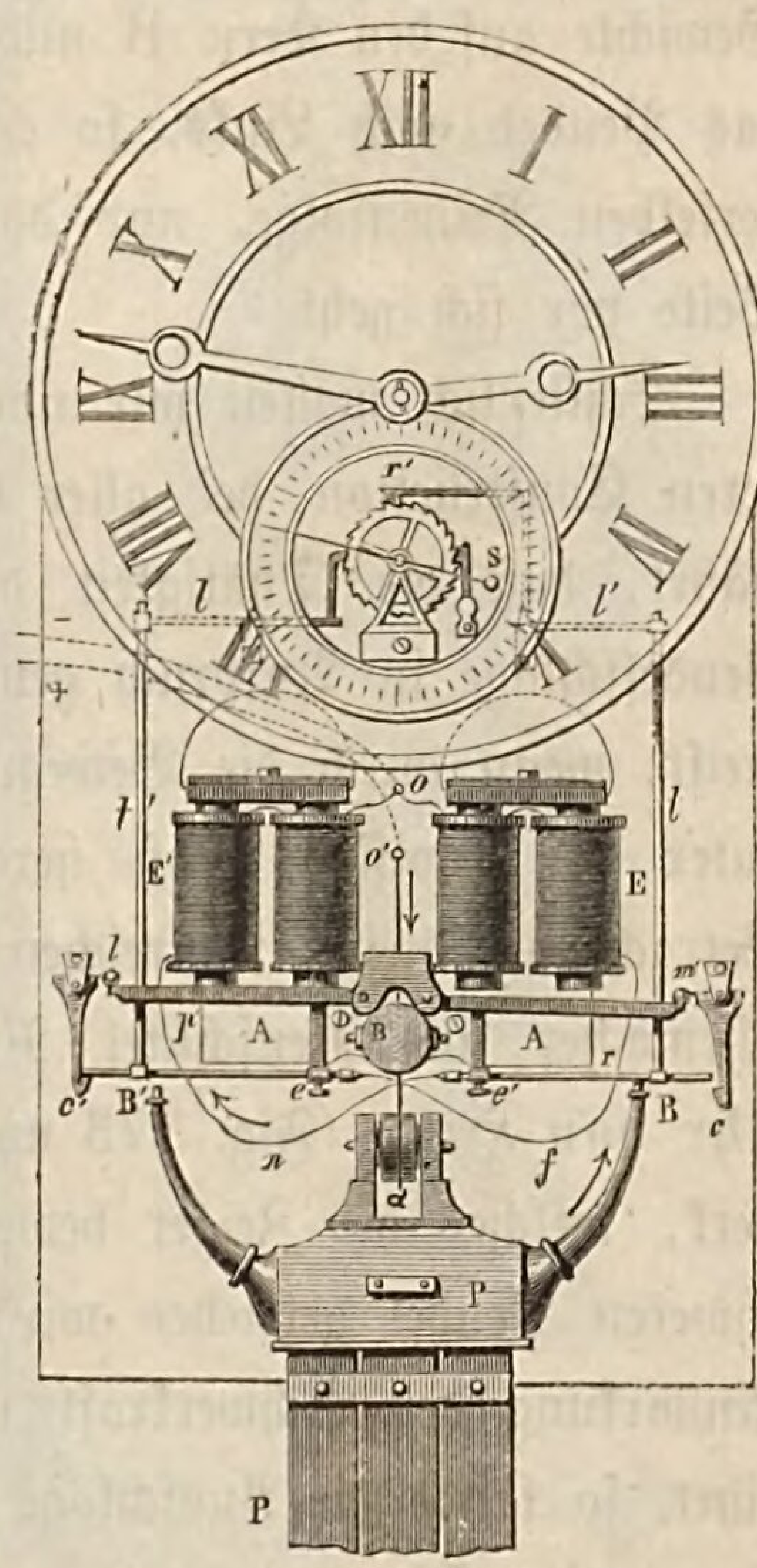
ausreicht und die Stromleitung mit allen Contacten in Ordnung bleibt. Betrachten wir jetzt einige der Uhrwerke, bei denen die Schwere nur insoweit einwirkt, als sie die Oscillationen des Pendels in gleichmäßigem Gange erhält, während als treibende Kraft der Elektromagnetismus wirkt, und beginnen wir mit einem der ältesten derartigen Werke, das von Vérité, einem Uhrmacher aus Beauvais, erfunden wurde.

Die elektrische Uhr von Vérité (Fig. 370) besteht aus einem Pendel B, das mittels einer schmalen Stahlfeder fest aufgehängt ist und eine Querstange AD trägt, auf welcher zwei aufrechtstehende Metall-

stifte befestigt sind. Jeder dieser Stifte befindet sich im Innern von einer der beiden Metallglocken C und C', gegen welche er stößt, sobald das Pendel nach seiner Seite hin ausschlägt, während sich zu jeder anderen Zeit zwischen ihm und der Glocke noch ein kleiner Zwischenraum befindet. Die Glocken sind mittels feiner Silberdrähte an einen Hebel angehängt, der durch einen Einsatz aus Elfenbein in zwei von einander isolierte Hälften zerfällt, welche selbst aus Metall bestehen. Jede dieser Hälften steht mit dem einen Ende des Drahtes in Verbindung, der den einen der beiden Elektromagneten E und E' umkreist, welcher sich auf derselben Seite vom Pendel aus gerechnet befindet, während die anderen Enden beider Drähte zu demselben Pole der Batterie abgeleitet sind: der zweite Batteriepol aber ist mit dem Pendel in dessen Aufhängepunkt in leitende Verbindung gesetzt. So lange das Pendel die Ruhelage einnimmt, ist der galvanische Strom nach keiner Seite hin geschlossen: sobald es aber infolge eines Anstoßes zu schwingen beginnt und z. B. nach Links hin ausschlägt, so kommt der Stift bei A mit der Glocke C in Berührung und schließt den Strom in der Weise, daß der Elektromagnet E in denselben eingeschaltet wird. Diesem Elektromagneten gegenüber ist an dem Hebel, der die Glocken trägt, ein Anker befestigt, welcher nunmehr herabgezogen wird und dabei die Glocke C herabsenkt, die auf den Stift bei A drückt und dadurch dem Pendel einen neuen Impuls ertheilt. Beim Zurückschwingen wird nun der Strom bei A geöffnet, dafür aber bei D geschlossen, sodaß jetzt die Glocke C' herabsinkt und das Pendel zurücktreibt. Dieser Druck, welcher abwechselnd auf der einen und anderen Seite bei A und D durch die beiden Glocken ausgeübt wird, erhält das Pendel beständig im Gange, sodaß es immerfort hin und her schwingt; mit dem Hebel aber, welcher die Glocken und die Anker der Elektromagneten trägt, kann ein Anker verbunden werden, der in die Zähne eines Steigrades eingreift und durch dasselbe ein Uhrwerk weiter treibt.

Bei der elektrischen Uhr von Froment (Fig. 371) wird bei jedem Ausschlage dem Pendel ein neuer Impuls durch den Druck eines Gewichtes p ertheilt, welches sich an einer Stelle befindet, an der der Strom abwechselnd geschlossen und unterbrochen wird. Dieses Gewicht ist an einer etwas federnden schmalen Platte befestigt, welche, so lange der Strom nicht geschlossen ist, durch den Arm R eines Hebels RL

in die Höhe gedrückt wird, indem der Theil des Hebels bei L ein größeres Gewicht besitzt als der bei R. Bei jedem Ausschlage, den das Pendel nach Links hin macht, stößt eine an ihm befestigte Schraube gegen das Gewicht p und schließt den Strom der Batterie, von welcher der eine Pol mit dem Pendel in Verbindung steht, während der andere nach dem Drahte des Elektromagneten E und von dort aus durch die federnde Platte nach dem Gewicht p abgeleitet ist. Sobald E magnetisch wird, zieht er einen am Hebel L befestigten Anker an, infolge dessen der Hebel das Gewicht p freiläßt, das nun auf die mit dem Pendel verbundene Schraube drückt und dem Pendel einen neuen Impuls ertheilt. Die beiden Schrauben V dienen nur um den Ausschlag des Hebels L in bestimmte Grenzen einzuschließen.

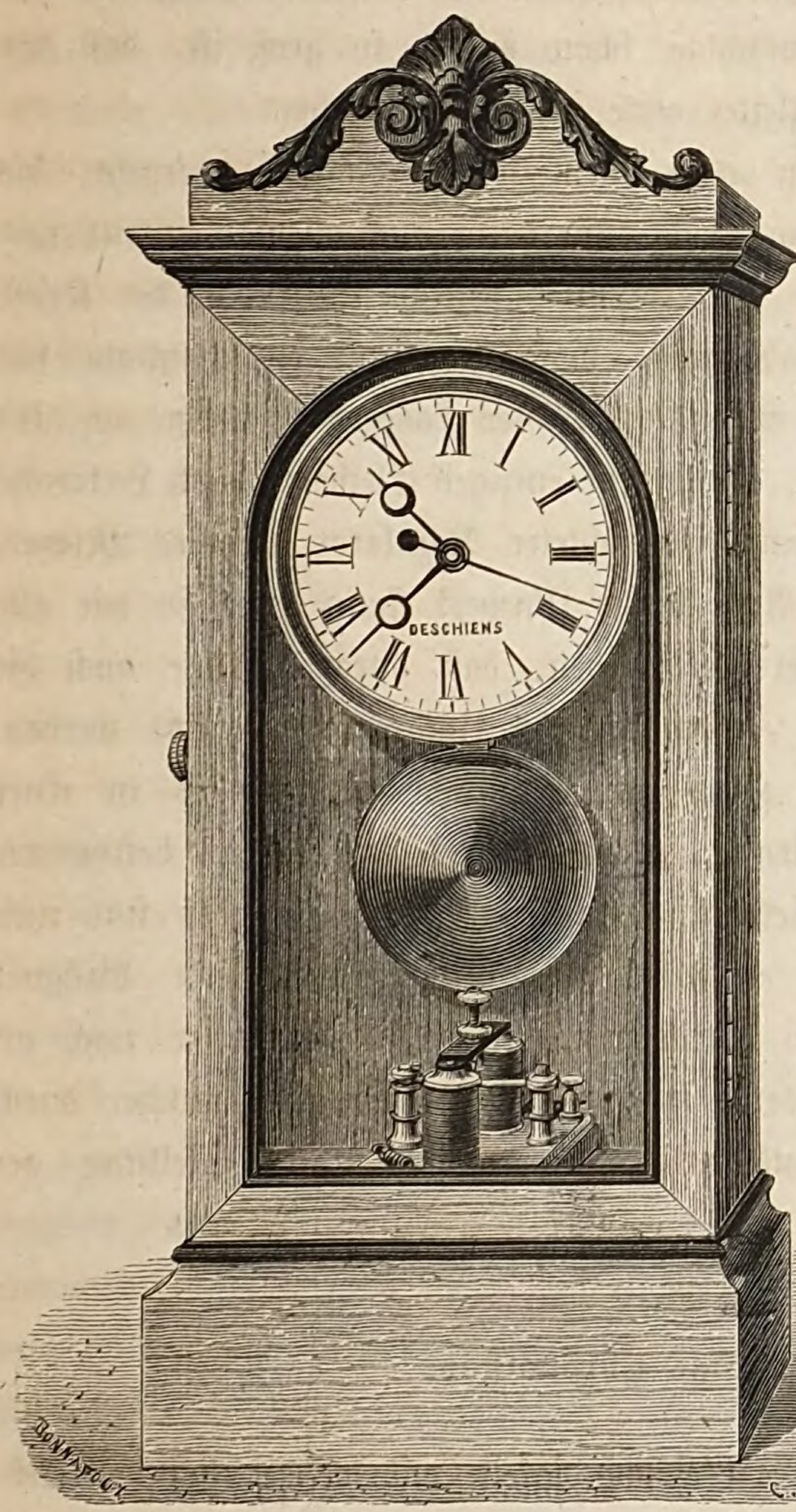

Fig. 372. Elektrische Uhr von Robert-Houdin.

Weit weniger einfach in der Construction ist die elektrische Uhr von Robert-Houdin (Fig. 372), deren Gang aber ein sehr regelmäßiger ist. Auch bei diesem Apparate tritt der Strom in das Pendel P beim Aufhängepunkt o′ ein und wird durch einen der beiden gebogenen Arme B oder B′ nach Rechts oder Links geleitet um von dort aus durch einen der beiden Elektromagneten E oder E′ zur Batterie zurückzukehren. Bewegt sich das Pendel z. B. nach Rechts, wie es in unserer Figur dargestellt ist, so stößt der Arm B gegen eine Metallplatte und leitet den Strom zu ihr über; von dieser Platte aus ist aber ein Leitungsdraht n bei e′ zu dem auf der linken Seite liegenden Elektromagneten E′ geführt, während der Elektromagnet E der rechten Seite mit der links liegenden Platte in Verbindung gesetzt ist. Sobald nun B an die Platte stößt und durch Schließen des Stromes bewirkt daß E′ magnetisch wird, so wird der Anker A A, der um seinen Mittelpunkt drehbar ist, auf der linken

Seite gehoben; dieser Anker hebt nun weiter die unter ihm liegende Platte, mit der er in Verbindung steht und durch diese den Stab der durch einen Sperrhaken das Steigrad um einen Zahn weiter treibt, zugleich aber wird der Haken c′ durch den Knopf l so vorgedrückt, daß derselbe die Platte von nun an in Ruhe hält. Während sich nun die linke Seite des Ankers A A hebt, wird die rechte herabgedrückt und dadurch der Sperrhaken c ausgelöst: dadurch wird die auf der rechten Seite befindliche Platte ausgelöst und diese drückt nun mit ihrem ganzen Gewichte auf den Kern B und ertheilt ihm einen Impuls. Bewegt sich das Pendel nach Links, so erfolgen alle die erwähnten Bewegungen in derselben Reihenfolge, nur daß jede derselben auf der entgegengesetzten Seite vor sich geht.

Schließlich wollen wir noch einer elektrischen Uhr Erwähnung thun, deren Construction bei aller Einfachheit den sehr großen Vortheil gewährt, daß die Thätigkeit der galvanischen Batterie nicht bei jedem Pendelschlage in Anspruch genommen wird, sondern nur dann erst eingreift, wenn durch die Bewegungshindernisse der Ausschlag des Pendels unter ein gewisses Maß herabgesunken ist: wenden wir uns jetzt zur Betrachtung dieses sinnreichen Apparates, dessen Erfindung wir einem Uhrmacher aus Neuschâtel Namens Hipp verdanken. Die elektrische Uhr von Hipp (Fig. 373 und 374) besteht zunächst aus einem Räderwerk, welches die Zeiger bewegt, welches selbst aber von einem kurzen, schweren Pendel getrieben wird, das seine Schwingungen nur unter der Einwirkung der Schwerkraft und ohne Eingreifen der Elektricität ausführt, so lange die Ausschläge groß genug sind. Erst wenn die Schwingungsweite sich etwas vermindert hat, wird der Elektromagnet E, der sich in fester Stellung unter dem Pendel etwas seitwärts von dessen Mittellage befindet, auf folgende Weise in den Stromkreis eingeschaltet. In Fig. 374, namentlich im unteren Theile der Abbildung, der diese Vorrichtung besonders darstellt, bemerken wir, daß das Pendel an seinem unteren Ende ein Stäbchen p trägt, welches sich leicht um eine horizontale Axe dreht und unterhalb in einer gut gestählten Schneide endigt. Dieses Stäbchen schleift beim Schwingen über eine kleine Messingplatte hinweg, welche zwei tiefere Einschnitte trägt und an einer dünnen Stahlfeder befestigt ist, die mit dem einen Pole der Batterie in Verbindung gesetzt ist. So lange nun die Schwingungen des Pendels groß genug

sind, wird dieses Stäbchen über die Platte hinausgehen, dort herabsinken und beim Rückgange wieder über die Platte schleifen, ohne gegen sie zu drücken: wird der Ausschlag dagegen so klein, daß das Stäbchen nicht



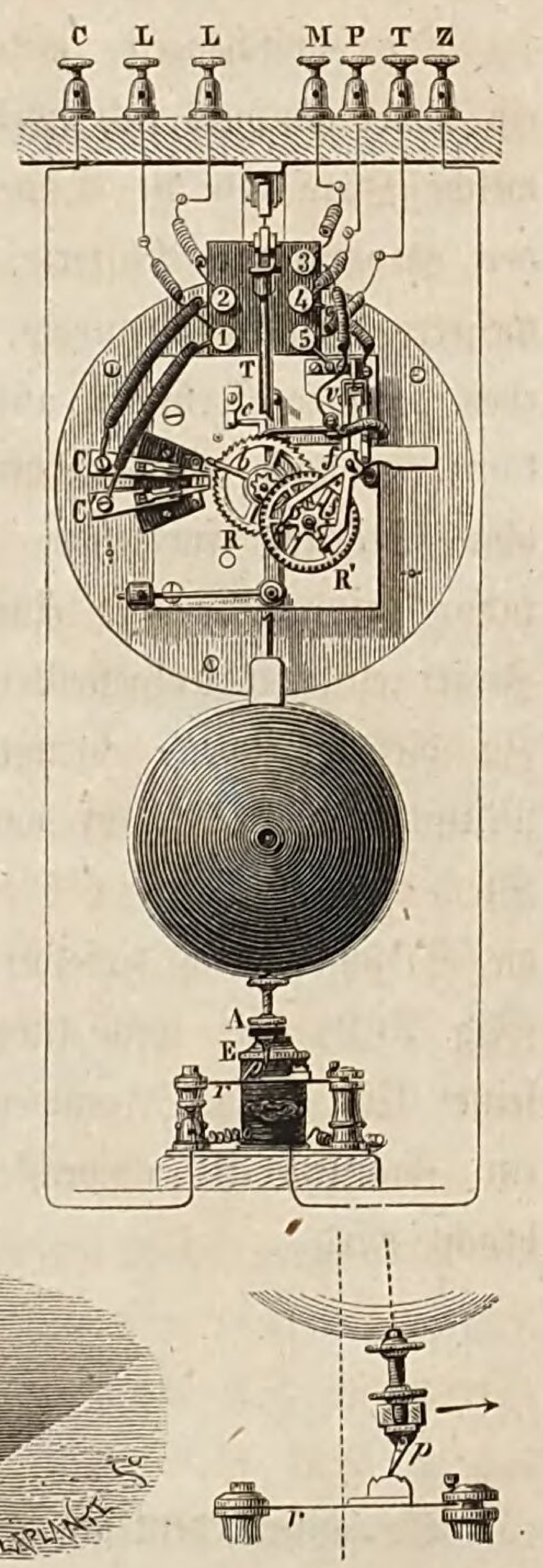


Fig. 373. Elektrische Uhr von Hipp: äußere Ansicht.

Fig. 374. Mechanismus der elektrischen Uhr von Hipp.

über die Platte hinaus geht, so stemmt es sich in einen der Einschnitte und würde das Pendel in seinem Laufe aufhalten, wenn nicht die Stahlfeder, welche die Platte trägt, auswiche und das Stäbchen wieder frei ließe. Dadurch aber, daß die Stahlfeder niedergedrückt wird, legt sie sich gegen einen Knopf, von welchem aus ein Draht zum Elektro=

magneten E und von dort aus zum zweiten Batteriepol führt: der hierdurch erregte Magnetismus wirkt weiter anziehend auf einen am Pendel selbst befestigten Anker und ertheilt dadurch dem Pendel einen Impuls, welcher die Bewegungen desselben neu belebt, sodaß bei der nächsten Oscillation der Ausschlag schon wieder so groß ist, daß das Stäbchen über die Platte gleitet ohne sie herabzudrücken.

Die Zwischenzeit, welche nach einem solchen Impulse vergeht, bis ein neuer Impuls sich nöthig macht und dann auch allemal eintritt und welche Hipp als die Dauer des Impulses bezeichnet, ist von der Kraft der galvanischen Batterie abhängig: bisweilen kann ein Impuls für mehrere Minuten genügen, in anderen Fällen dagegen reicht er nur für eben so viele Secunden aus; mit einem einzigen Elemente nach Leclanché kann ein nach diesem Systeme eingerichteter Regulator mehrere Monate ohne Störung fortgehen. Auch dieses Uhrwerk kann eben so wie alle zuvor besprochenen so eingerichtet werden, daß durch dasselbe auch die Zeiger entfernt aufgestellter Zifferblätter in Umdrehung versetzt werden. Zu diesem Zwecke bringt Hipp am Steigrade R, welches in einer Minute seinen Umlauf vollendet, einen Zahn b an, der an bestimmter Stelle so viel Tasten C C niederdrückt, als Leitungen vorhanden sind und die Ströme durch dieselben entsendet. Da Hipp ähnlich wie Bréguet (Fig. 369) mit wechselnden Strömen arbeitet, so bringt er noch an seiner Uhr einen Stromwender f in Form einer Gabel an, welcher durch ein Zahnrad R′ abwechselnd in die eine oder andere Stellung gebracht wird.

§ 3. Das Chronoskop.

Die außerordentlich große Geschwindigkeit, mit welcher sich der elektrische Strom durch die Leitungsdrähte ausbreitet, macht denselben weiter zu einem geeigneten Hilfsmittel, wenn es gilt sehr kurze Zeiträume mit möglichster Genauigkeit zu messen, wie z. B. die Zeit, die von der Entzündung des Pulvers in einer Kanone bis zum Austreten der Kugel aus dem Rohre, oder vom Austritte dieser Kugel bis zum Einschlagen in eine entfernte Scheibe vergeht. Der schon mehrfach genannte Wheatstone war auch hier wieder der Erste, welcher diesen Gedanken faßte und namentlich zur Lösung der zuletzt erwähnten Aufgabe bereits

im Jahre 1840 einen Apparat construierte, den er mit dem Namen **Chronoskop** bezeichnete.

Das **Chronoskop** von Wheatstone (Fig. 375) besteht zunächst aus einem Uhrwerke C, das durch ein Gewicht F getrieben wird, in dem sich aber an Stelle des Pendels eine Stahlfeder befindet, die in der Secunde 1000 Schwingungen vollendet; diese Feder greift in ein Zahnrad mit 100 Zähnen ein, welches sie bei jeder Schwingung um einen Zahn weiter rückt, sodaß dieses Rad zu einem Umlaufe den zehnten Theil einer Secunde gebraucht. Mit dem Rade ist ein Zeiger verbunden, welcher sich über einem in 100 Theile getheilten Zifferblatte E bewegt und folglich durch seine Stellung die Tausendstel einer Secunde

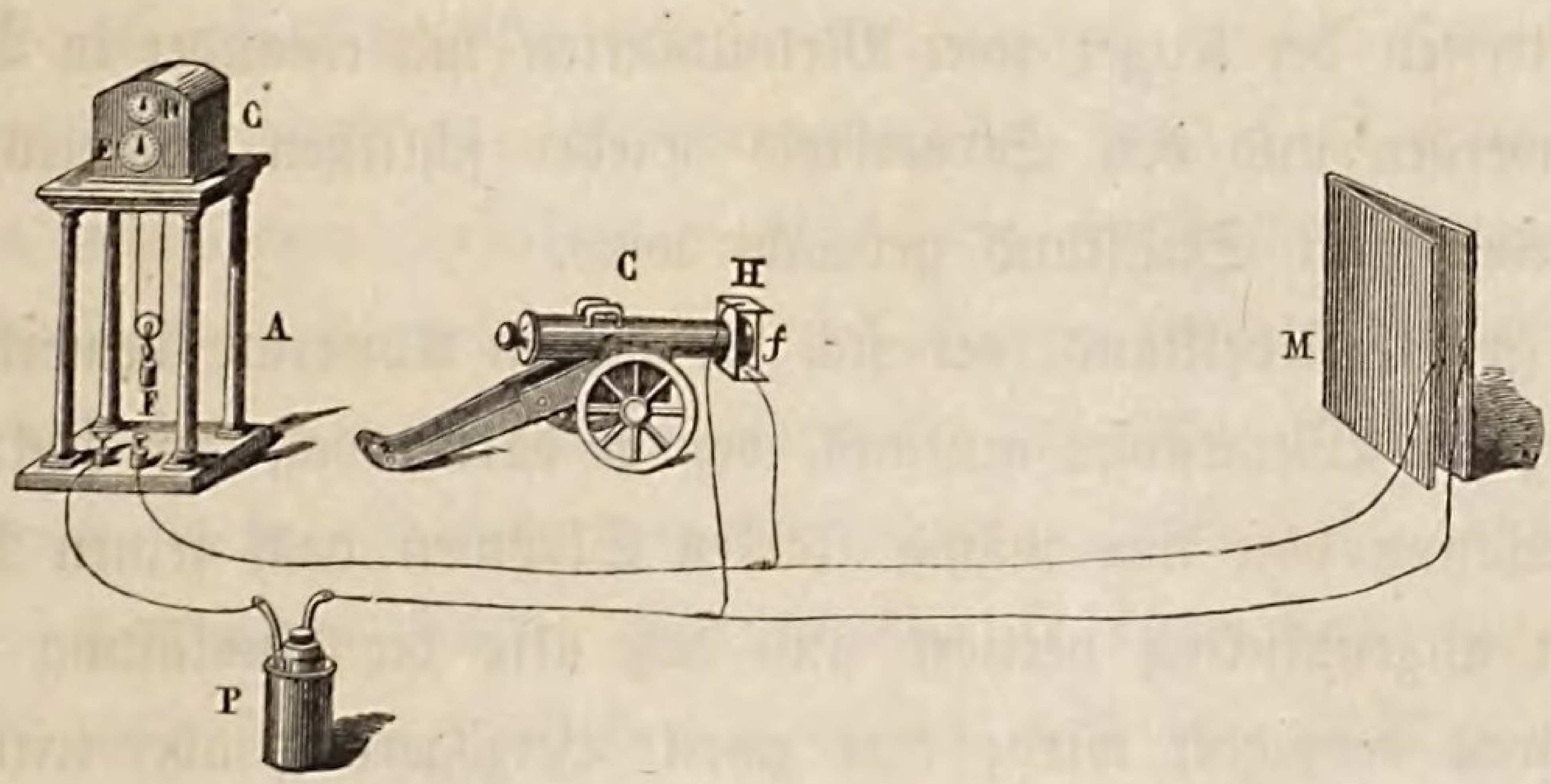


Fig. 375. Chronoskop von Wheatstone.

angiebt, ein zweiter Zeiger ist dagegen mit einem Rade verbunden, das um einen Zahn weiter rückt, wenn das erste Rad eine volle Umdrehung vollendet und giebt mithin auf dem Zifferblatte D die Zehntel der Secunden an. Das ganze Uhrwerk kann durch einen Sperrkegel arretiert werden, welcher an dem Anker eines Elektromagneten befestigt ist und hemmend eingreift, so lange der Strom einer Batterie den Eisenkern umkreist und den Anker anzieht; sobald aber der galvanische Strom unterbrochen wird, so wird auch der Sperrkegel zurückgezogen und das Uhrwerk beginnt seinen Lauf, bis ein neuer Strom wieder Magnetismus erregt. Hat man also vor Beginn der Bewegung den Stand der Zeiger notiert, so ergiebt die Ablesung, nachdem der Sperrkegel die Bewegung gehemmt hat, die Zwischenzeit genau bis auf die Tausendstel der Secunde, während man den gleichmäßigen Gang des Uhrwerkes da-

durch controlieren kann, daß die Stahlfeder während der ganzen Dauer einen Ton von bestimmter Höhe erklingen läßt.

Will man mittels dieses Uhrwerkes messen, wie lange Zeit eine Kugel gebraucht um von der Kanone C bis zum Ziele M zu gelangen, so schaltet man den Elektromagneten in den Stromkreis einer galvanischen Batterie P ein, deren einer Poldraht f über einen Holzrahmen vor der Mündung der Kanone ausgespannt ist, und liest den Stand des Uhrwerkes ab, welches durch die Einwirkung des Stromes arretiert wird. Sobald nun die Kugel den Lauf verläßt, zerreißt sie den Draht f und unterbricht dadurch den Strom, sodaß zu derselben Zeit das Uhrwerk seine Bewegung beginnt. Das Ziel, welches in einer bestimmten Entfernung vor der Kanone aufgestellt ist, ist endlich so eingerichtet, daß beim Auftreffen der Kugel zwei Metallplatten mit einander in Berührung gebracht werden und den Stromkreis wieder schließen, wodurch die Uhr sofort wieder zum Stillstand gebracht wird.

Der größte Uebelstand, der sich bei diesem Apparate bemerklich macht und den schon Wheatstone auffand, besteht darin, daß der Elektromagnet bei Anwendung von nur mäßig starken Strömen doch seinen Magnetismus nicht augenblicklich verliert und daß also die Auslösung des Uhrwerkes etwas verzögert wird; eine zweite Verzögerung aber tritt ein beim Schließen des Stromes, wenn das Ziel erreicht ist. So klein auch diese Fehler sein mögen, so stören sie doch die Genauigkeit der Resultate zu sehr, da ja die ganze Zeitdauer, über welche sich die Beobachtung erstreckt, selbst sehr gering ist. Der Erfinder hat selbst schon diese Fehler dadurch zu verbessern versucht, daß er verschiedene Ströme anwendete, nämlich für den ersten Schluß einen ziemlich schwachen, für den zweiten Schluß einen stärkeren, der den Anker schneller zum Einhemmen bringt. Eine andere Verbesserung hat Hipp angebracht: nach dessen Vorschlage geht nämlich das Uhrwerk ununterbrochen weiter, jedoch ohne die Zeiger mit sich fort zu bewegen, so lange der Strom geschlossen ist; wird der Strom unterbrochen, so werden die Zeiger erst eingerückt und nehmen an der Bewegung theil, bis ein neues Schließen des Stromes sie wieder ausrückt. Es würde zu weit führen, wollten wir weitere Abänderungen, die an diesem und an ähnlichen Apparaten angebracht wurden, ausführlicher besprechen, zumal da es noch nicht gelungen ist sehr wesentliche Verbesserungen, durch welche die Genauigkeit bedeutend erhöht würde, dabei

anzubringen; nur erwähnen wollen wir, daß man auch in anderen Fällen für die Beobachtung von Geschwindigkeiten ähnliche Methoden angewendet hat: so hat schon Wheatstone selbst die Zeit des freien Falles der Körper auf diesem Wege mit gutem Erfolge beobachtet.

§ 4. Telephon, Phonograph und Mikrophon.

Bevor wir zur Beantwortung der Frage übergehen, in welcher Weise man die elektrischen Kräfte zur Hervorbringung größerer mechanischer Effekte benutzt hat, scheint uns hier der geeignete Platz zu sein für die Besprechung des Telephons, des Phonographen und des Mikrophons. Die genannten Instrumente schließen sich zwar in ihrer Wirkung zunächst den im ersten Kapitel des zweiten Buches besprochenen Apparaten an, auf ihre Beschreibung konnten wir aber dort nicht eingehen, weil wenigstens bei zweien derselben die Wirkung durch das Eingreifen elektrischer Ströme erzielt wird. Wir haben an jener Stelle gesehen, wie man den Ton der menschlichen Stimme auf kurze Entfernungen hin, z. B. innerhalb der Räume eines Gebäudes, durch enge Röhren weiter leitet: die Anwendung dieser Sprachrohre ist aber immerhin eine sehr beschränkte, und so hat man den Umstand, daß feste Körper den Schall besser leiten als die Luft, zur Erhöhung der Wirkung benutzt. So verbindet z. B. Weinhold zwei Kasten durch einen ausgespannten Eisendraht, der eine Länge von 600 Meter besitzen kann: spricht man in den einen dieser Kasten oder bringt man in ihm irgend ein anderes Geräusch hervor, so pflanzt sich der Schall durch den Draht fort und wird von Jemand deutlich gehört, der sein Ohr an den zweiten Kasten legt.

Auch diese Einschränkung ist überschritten worden durch die Einführung elektrischer Ströme und zwar hat zuerst der Lehrer Reis schon im Jahre 1861 der physikalischen Gesellschaft in Frankfurt a. M. einen Apparat vorgelegt, durch welchen unter Mithilfe des Stromes, der einem galvanischen Elemente entstammt, Geräusche auf ziemliche Entfernungen hin übertragen werden. Reis ist also der Erfinder des Telephons, eines Apparates, der erst praktische Verwendung gefunden hat, nachdem mancherlei Verbesserungen an ihm angebracht sind: wir wählen bei unserer Besprechung diejenige Form, die wohl die größte Verbreitung gefunden

hat, nämlich das Telephon von Bell, welches in Fig. 376 im Durchschnitt dargestellt ist. Im Innern einer Holzfassung F befindet sich ein Stahlstab A, welcher dauernd magnetisiert ist: am oberen Ende ist derselbe von einer Spirale B umschlossen, welche aus einer großen Zahl von Windungen aus feinem Kupferdrahte besteht. Dieser Draht ist mit Seide übersponnen, damit die einzelnen Windungen von einander isoliert sind, und hat eine Gesammtlänge von 58 Meter. Die beiden Enden des Drahtes stehen durch die etwas stärkere Leitung C mit den Klemmschrauben D in Verbindung, von welchen zwei isolierte Drähte nach der fernen Station führen, wo sie mit einem ganz übereinstimmend gebauten Apparate in gleicher Weise verbunden sind. Am vorderen Ende, dem Magnetpole gegenüber, ist ein Schalltrichter G aufgeschraubt, durch welchen zugleich eine dünne Lamelle E aus weichem Eisen ausgespannt gehalten wird. Wird in den Trichter hinein gesprochen, so geräth die Lamelle in eine schwingende Bewegung und nähert sich dabei dem Magnetpole um sich sogleich wieder von demselben zu entfernen; bei jeder Annäherung wird der Magnetismus des Stahlstabes gesteigert, bei jeder Entfernung aber wieder herabgemindert, und dadurch bewirkt, daß bei jeder Oscillation der Lamelle in den Drahtspiralen zwei Ströme von entgegengesetzter Richtung induciert werden, welche sich mit enormer Geschwindigkeit in der Leitung bis zur nächsten Station fortpflanzen. Kommt nun daselbst ein Strom an, dessen Richtung mit der Richtung der Ströme in dem dort aufgestellten Magneten übereinstimmt, so wird dessen Magnetismus verstärkt und die

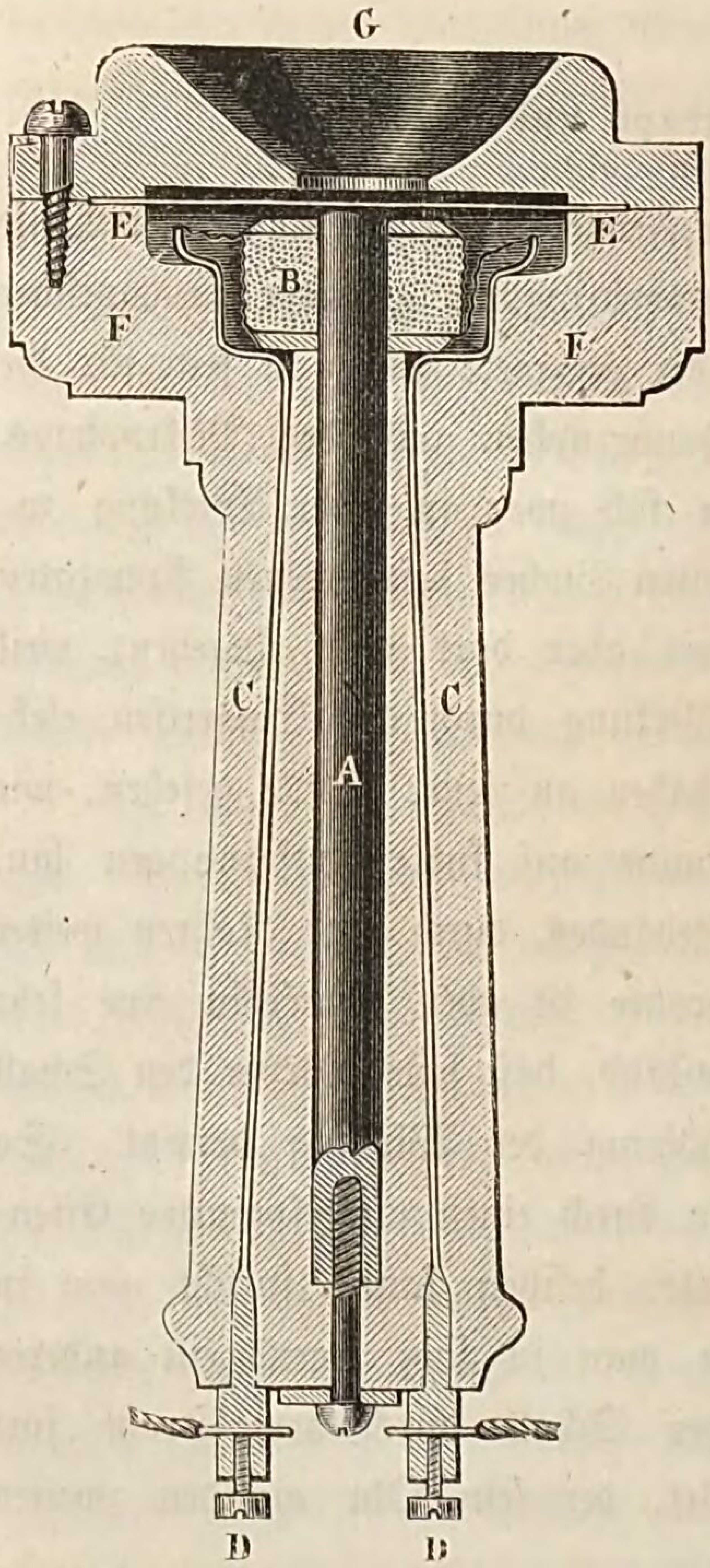


Fig. 376. Telephon von Bell.

vor ihm liegende Lamelle wird von ihm kräftiger angezogen; trifft ein entgegengesetzter Strom ein, so läßt die Anziehung nach und die Lamelle kehrt in ihre vorige Lage zurück. Da nun durch das Schwingen der Lamelle im ersten Apparate, gegen welche gesprochen wird, beständig wechselnde Ströme ausgesendet werden, so geräth die Lamelle im zweiten Apparate in eine oscillierende Bewegung, welche mit der der ersten Lamelle genau übereinstimmt; diese Oscillationen aber erscheinen dem gegen den Schalltrichter gelegten Ohre als ein Schall, der sowohl an Tonhöhe,

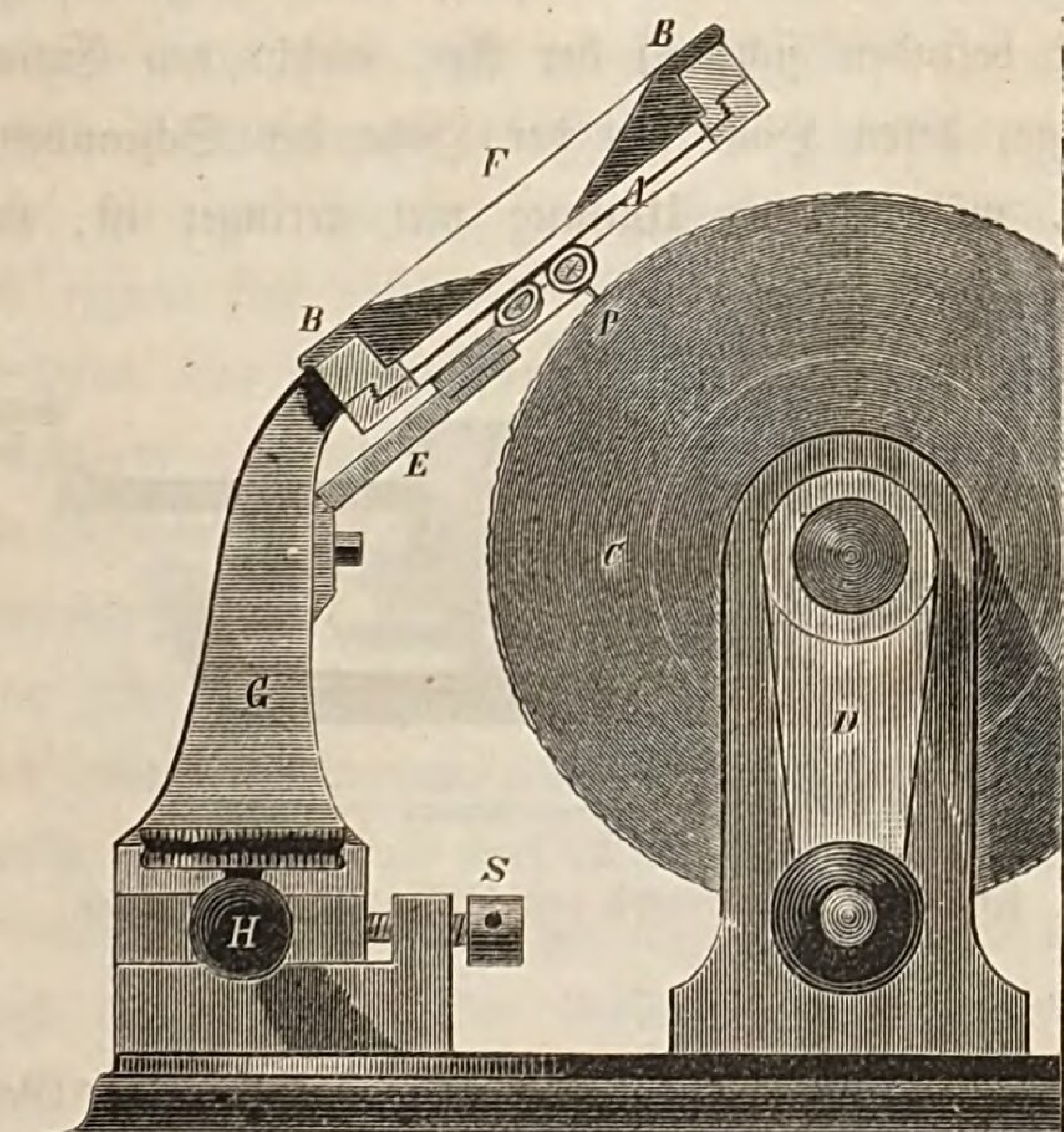


Fig. 377. Phonograph von Edison: Seitenansicht.

wie auch an Klangfarbe mit dem gesprochenen Worte genau übereinstimmt. Auf diese Weise läßt sich sowohl das gesprochene Wort, als auch der gesungene oder auf einem Instrumente gespielte Ton auf meilenweite Entfernungen hin übertragen.

Abgesehen von dem praktischen Nutzen gewinnt das Telephon besonders dadurch an Interesse, daß durch dasselbe ganz unzweifelhaft nachgewiesen ist, daß alle Schallerscheinungen ihrem Wesen nach nur in oscillierenden Bewegungen der Luft bestehen: in noch vollkommnerem Maße aber wird dieser Nachweis durch Edison's **Phonograph** geführt, dessen Besprechung wir hier im Zusammenhange mit der Be-

trachtung der verwandten Apparate einschalten wollen, wenngleich die Elektricität nicht bei ihm mitwirkt. Edison's Phonograph, von welchem Fig. 377 die Seitenansicht in halber natürlicher Größe zeigt, besteht aus einem Schalltrichter F, vor dessen Oeffnung sich eine Platte A aus dünnem Eisenbleche oder eine Membran aus Pergamentpapier befindet, an der ein Schreibstift P befestigt ist. Diesem Schreibstifte gegenüber befindet sich ein Cylinder C, der durch eine Kurbel D in Umdrehung versetzt werden kann: in die Fläche dieses Cylinders aber ist eine Furche in Gestalt einer Schraubenlinie mit flachen Windungen eingegraben. In gleicher Weise befinden sich auf der Axe, welche den Cylinder C trägt, Schraubengänge, deren Höhe mit der Höhe der Schraubengänge auf C übereinstimmt, während der Umfang viel geringer ist, wie man aus

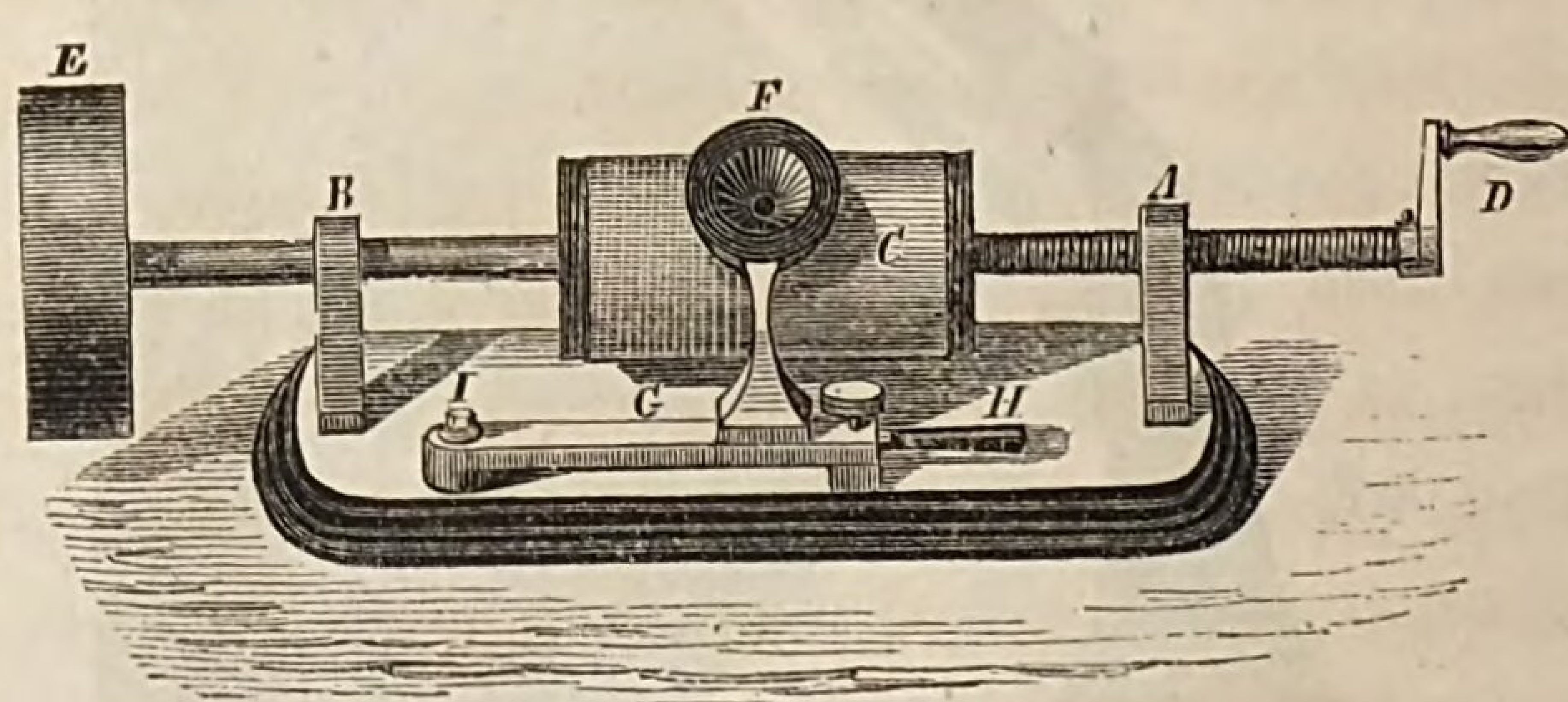


Fig. 378. Phonograph von Edison: Gesammtansicht.

Fig. 378 ersehen kann, welche den Apparat in der Gesammtansicht, jedoch in starker Verkleinerung darstellt. Bei jeder Umdrehung der Kurbel D rückt also auch der Cylinder C gerade um einen der Schraubengänge, die auf ihm eingeschnitten sind, weiter. Bevor man den Apparat in Gang setzt, überklebt man den Cylinder mit einem Blatte von sehr dünner und weicher Zinnfolie, welches so groß geschnitten ist, daß seine Ränder genau aneinander stoßen, ohne übereinander zu greifen, und dreht mittels der Kurbel den Cylinder so weit zurück, daß sich der Schreibstift C dem ersten der eingeschnittenen Schraubengänge gegenüber befindet. Man bringt nun mittels des Hebels G H den Stift so nahe heran, daß er die Zinnfolie ein wenig in die Furche eindrückt, sodaß er also beim Weiterdrehen des Cylinders eine flache Spur zurückläßt. Wird nun während der Umdrehung gegen den Schalltrichter F gesprochen, so geräth die Platte A in Schwingungen und der Schreibstift P hinterläßt

auf der Zinnfolie Eindrücke, die sich dem Auge als Reihen von Punkten von größerer oder geringerer Vertiefung und von größerem oder geringerem Abstande darstellen. Rückt man nun den Schreibstift vom Cylinder ab, dreht man weiter den Cylinder wieder in die Anfangsstellung zurück und nähert man dann den Schreibstift so, daß er ein klein wenig tiefer eingreift als zuvor, so hört man bei nochmaliger Umdrehung des Cylinders die Worte, die zuvor in den Apparat hinein gesprochen oder gesungen wurden, deutlich aus ihm wieder heraustönen. Hieraus folgt ohne Zweifel, daß auch die Sprache nur in Schwingungen besteht, in welche die Luft dadurch versetzt wird, daß ein Stift über die ungleichmäßigen Erhöhungen und Vertiefungen in einer dünnen Platte hinweggleitet. Die Resultate, die der Apparat giebt, sind im höchsten Grade überraschend, doch eignen sich nicht alle Laute gleich gut zur Reproduction: unter den Vokalen sind die dumpfen Laute a, o und u geeigneter als die hellen, besonders als das i, und unter den Consonanten erscheinen namentlich die Zischlaute nicht sehr scharf; auch gleicht die Stimme, die aus dem Apparate erschallt, mehr dem Klange einer Sprache, die mit zurückgezogenem statt mit ausgestoßenem Athem gesprochen wird.

Schließlich gedenken wir noch eines Apparates, durch den es möglich ist, sehr schwache Geräusche zu verstärken und dadurch dem Ohre vernehmbar zu machen und welcher daher mit dem Namen eines Mikrophones belegt worden ist. Der Erfinder dieses Apparates ist der Physiker Hughes, dessen Drucktelegraph in einem früheren Kapitel von uns besprochen wurde; wir beschränken uns auf die Beschreibung des verbesserten Mikrophones von Hughes und erwähnen nur, daß ähnliche Apparate auch von anderen Physikern, namentlich von Weinhold construiert worden sind. Die Wirkung des genannten Apparates beruht darauf, daß durch die Schallschwingungen der Zusammenhang in der Leitung eines galvanischen Stromes abwechselnd etwas gelockert und wieder vollkommen hergestellt wird und daß damit die Intensität des Stromes sich in entsprechender Folge ändert. Es sind zu diesem Zwecke auf einem dünnen Resonanzbretchen B (Fig. 379), das an einem Resonanzkasten H befestigt ist, zwei kleine Würfel C und C′ aus solcher Kohle, wie sie zu den Bunsen'schen Elementen gebraucht wird, angebracht: in diese Würfel sind kleine Vertiefungen eingebohrt, zwischen welche ein Kohlenstäbchen A lose eingeklemmt ist. Der eine Würfel steht direct

mit dem einen Pole einer galvanischen Batterie in Verbindung, während von dem anderen Würfel aus eine Leitung zunächst nach einem Telephone und erst von diesem zum anderen Batteriepole führt. Das Telephon wird mithin beständig von einem galvanischen Strome umkreist, dessen Intensität sich aber in gleichem Maße ändert, wie der Zusammenhang zwischen dem eingesetzten Kohlenstäbchen und den beiden Würfeln durch die Schwingungen des Resonanzbretchens geändert wird. Durch diesen Wechsel in der Stromstärke geräth das Schallblech im Telephon in Schwingungen, die mit den Schwingungen des Resonanzbretchens übereinstimmen, nur daß sie viel intensiver sind und einen deutlich vernehmbaren Ton erregen. Ein leise gegen das Resonanzbretchen ge-

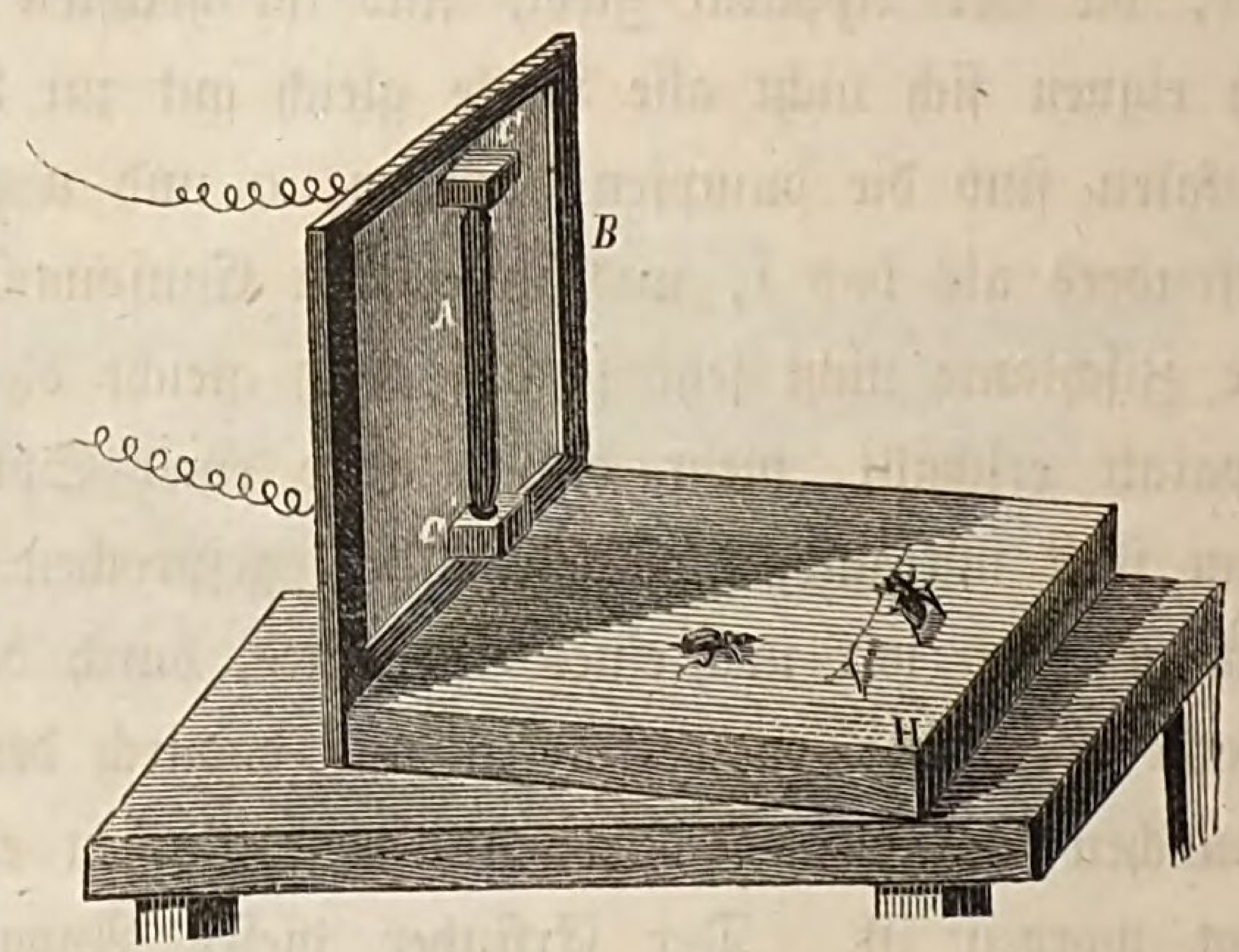


Fig. 379. Mikrophon von Hughes.

sprochenes Wort, ja sogar das Geräusch, das verursacht wird, wenn eine Fliege über den Resonanzkasten H hinwegläuft oder wenn mit einem Pinsel über denselben hinweggestrichen wird, kommt dem Ohre durch Vermittelung des Telephons zur deutlichen Wahrnehmung.

Anmerkung: Die Abbi dungen im letzten Paragraphen sind mit gütiger Erlaubniß des Herrn Verlegers dem 14. Jahrgange des Jahrbuches der Erfindungen und Fortschritte (Leipzig, Quandt und Händel, 1878) entnommen.

Sechstes Kapitel.

Elektrische Motoren.

§ 1. Oscillierende elektrische Motoren.

In der elektrischen Telegraphie sowohl, wie auch bei dem Betriebe der elektrischen Uhren dient die lebendige Kraft des Stromes, der entweder unmittelbar einer galvanischen Kette entstammt oder auch durch Induction ins Leben gerufen ist, als treibende Kraft, welche den Impuls zu den Bewegungen giebt, die beim Gebrauche jener Apparate ausgeführt werden müssen: jene Erfindungen beweisen also, daß auch die Elektricität gleich der Wärme recht wohl im Stande ist eine Thätigkeit zu entwickeln, die in mechanische Kraft umgesetzt und für mechanische Leistungen nutzbar gemacht werden kann. Bei den durch den elektrischen Strom hervorgerufenen Bewegungen, die wir bisher besprachen, handelt es sich freilich niemals um die Entwickelung einer bedeutenden Energie, sondern die Leistungen waren alle der Art, daß sie nur geringen Kraftaufwand erforderten, ja in vielen Fällen dient der galvanische Strom lediglich dazu das Spiel einer anderen Kraft, wie z. B. der Schwerkraft, zu regulieren, indem er abwechselnd die Einwirkung derselben bald aufhebt und bald wieder freigiebt. Gleichwohl liegt die Frage nahe, ob nicht auch die Elektricität direct als Betriebskraft verwendet werden kann, ob sie nicht in gleicher Weise wie der Dampf Maschinen in Gang zu setzen vermag, welche eine bestimmte Bewegungsgröße, die in ihnen erzeugt und aufgespeichert wurde, auf andere Maschinen übertragen, wo dieselbe die Form annimmt, die für das jedesmalige industrielle Bedürfniß erforderlich ist; und auch diese Aufgabe ist auf mehreren Wegen in brauchbarer Weise so gelöst worden, daß die Lösungen eine, wenn auch etwas beschränkte, Anwendung finden können.

Nachdem schon früher einige dahin zielende Versuche ohne günstigen Erfolg angestellt worden waren, hat wohl zuerst ein Gelehrter aus Padua Namens Salvator del Negro im Jahre 1831 eine nicht ganz unbrauchbare Maschine construiert, bei welcher ein Magnet zwischen den Polen eines Elektromagneten schwingende Bewegungen ausführte: und

ungefähr gleichzeitig wurden auch in Deutschland elektromotorische Maschinen mit rotierender Bewegung gebaut. Das Princip für die letzteren ist aber besonders durch Ritchie ausführlicher untersucht worden, welcher im Jahre 1833 in den Philosophical Transactions eine Abhandlung über diesen Gegenstand veröffentlichte. Bei seiner Maschine wird ein Stahlmagnet in einem Rahmen so befestigt, daß die Pole nach Oben gekehrt sind, über demselben aber befindet sich ein hufeisenförmiger Elektromagnet, der um eine aufrechtstehende Axe rotiert und dessen Magnetismus sich in dem Augenblicke umkehrt, in welchem seine Pole den Polen des Stahlmagneten gegenübertreten. Später hat man den Stahlmagneten ebenfalls durch einen Elektromagneten ersetzt, welcher beständig in demselben Sinne magnetisiert bleibt. Die bedeutendste Kraftleistung hat Jacobi erzielt, welcher im Jahre 1839 in Petersburg eine elektromotorische Maschine baute, über welche sich Du Montcel folgendermaßen ausspricht: „Man bediente sich dieser Maschine zur Fortbewegung eines kleinen Bootes, das zu diesem Zwecke Schaufelräder trug und auf dem zwölf Personen Platz genommen hatten. Man konnte damit wirklich mehrere Stunden lang auf der Newa umher fahren, allein die entwickelte Kraft überstieg niemals drei Viertel einer Pferdekraft, trotzdem daß sie einer Säule von 128 großen Grove'schen Elementen entstammte. Dadurch daß ein so energischer Strom doch nur einen so geringen mechanischen Effekt ergab, wurde der Erfinder vollständig entmuthigt und von dieser Zeit an ist er immer der Ueberzeugung geblieben, daß sich die Elektricität für die industriellen Arbeiten auf diese Weise nicht verwerthen läßt". Daß diese vollständige Verwerfung der elektrischen Motoren zu weit geht, hat die Folge gelehrt, und so wollen wir jetzt von jeder der beiden Grundformen, nämlich von den Elektromotoren mit oscillierender und solchen mit rotierender Bewegung je ein Beispiel besprechen.

Die charakteristischen Unterschiede der beiden Typen der elektrischen Motoren giebt Verdet in einem Vortrage über die mechanische Wärmelehre, welchen er im Jahre 1862 in der Chemischen Gesellschaft zu Paris hielt, in folgender Weise an: „Bei den Elektromotoren mit oscillierender Bewegung wird eine Drahtspirale von einem Volta'schen Strome in einer bestimmten Richtung durchflossen oder ein Elektromagnet von ihm umkreist und übt infolge dessen auf eine zweite Spirale oder

einen zweiten Elektromagneten Anziehung aus; an Stelle des letzteren tritt häufig ein dauernd magnetischer Stahlstab oder auch nur ein Stück weiches Eisen. Sobald das bewegliche Stück an das feststehende Stück bis nahe zur Berührung herankommt, wird durch das Spiel der Maschine selbst ein Stromwender umgelegt und dadurch die Anziehung in Zurückstoßung verwandelt oder auch die Stromleitung zu der Spirale, welche soeben gewirkt hat, unterbrochen und dafür eine zweite Spirale, die sich auf der entgegengesetzten Seite befindet, in den Stromkreis eingeschaltet. Dadurch wird die Richtung der Bewegung umgekehrt und, da sich dieser Wechsel der Anziehung beständig wiederholt, so entsteht eine Bewegung, die man in ähnlicher Weise übertragen und ausnutzen kann, wie die hin- und hergehende Bewegung des Kolben einer Dampfmaschine. Bei den Motoren mit rotierender Bewegung sind die feststehenden und die beweglichen Theile in zwei concentrischen Kreisen so angeordnet, daß sie in die Richtung der Radien fallen; durchläuft der Strom die Spiralen des beweglichen Rades, so sucht er dasselbe in eine bestimmte Stellung zu treiben, in welcher es in den Zustand des stabilen Gleichgewichtes gelangen würde, wenn sich nicht in demselben Augenblicke durch Umlegung eines Stromwenders die Stromrichtung in der einen Gruppe von Rollen umkehrt und dadurch die Anziehung in Abstoßung verwandelte: auf diese Weise erfolgt die Rotation ohne Unterbrechung in demselben Sinne".

Bei der elektromotorischen Maschine von Bourbouze (Fig. 380), die wir als Beispiel für den ersten Typus wählen, erblicken wir zwei Paare von aufrechtstehenden magnetisierenden Spiralen E, E und E', E' zu beiden Seiten eines Gerüstes, welches einen Balancier trägt, der in ähnlicher Weise wirkt, wie der Balancier einer Dampfmaschine, während die Spiralen die Stelle der Dampfcylinder vertreten. Der Balancier trägt auf jeder Seite einen Querriegel, an dem zwei Cylinder aus weichem Eisen befestigt sind, welche in die Drahtspiralen einpassen und sich leicht in denselben hin und her bewegen lassen: je nachdem der Strom nun in das eine oder das andere Paar von Spiralen eintritt, werden die entsprechenden Eisenkerne abwechselnd herabgezogen und dadurch der Balancier in eine oscillierende Bewegung versetzt, welche durch eine Bleuelstange und eine Kurbel wie bei der Dampfmaschine in eine rotierende verwandelt und auf die Triebaxe, an der ein Schwungrad befestigt ist,

übertragen wird. Es erübrigt zu zeigen, in welcher Weise der Wechsel in der Circulation des Stromes durch die Maschine selbst bewirkt wird: zu diesem Zwecke ist an der Triebaxe eine Kurbel befestigt, welche bei a o b einen Streifen aus Elfenbein in einer Führung bei einem Umlaufe einmal hin und her bewegt. In diesen Streifen ist eine Metallplatte eingelegt, welche in der Zeichnung durch dunklere Schraffierung angedeutet ist, und durch diese Platte werden abwechselnd die beiden Elektromagnete E und E′ in den Stromkreis eingeschaltet. Der Draht, welcher vom

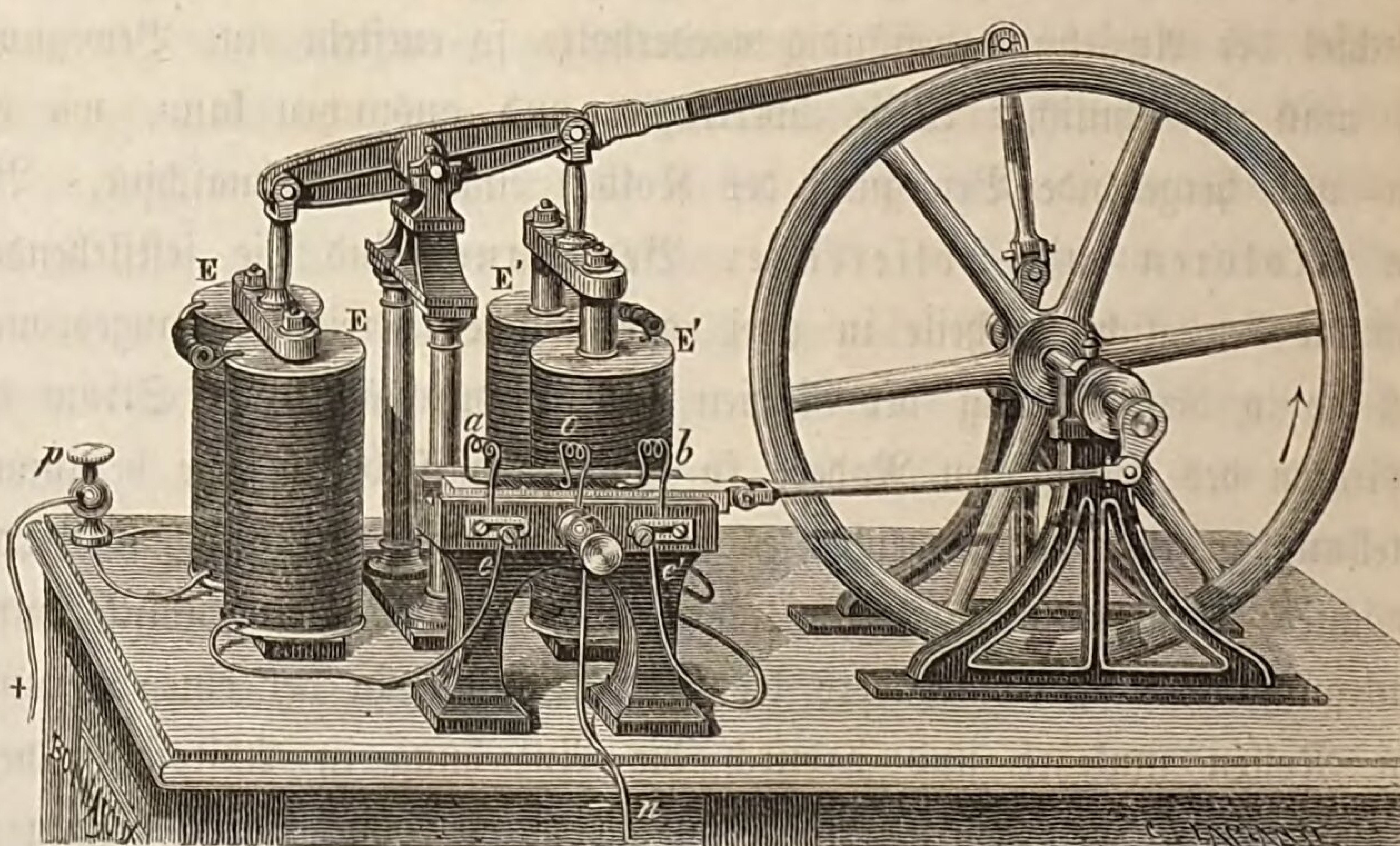


Fig. 380. Elektromotorische Maschine von Bourbouze.

positiven Pole der Batterie kommt, ist bei p in einer Säule festgeklemmt, von welcher zwei Drähte ausgehen, die die beiden Elektromagnete umkreisen um dann bei a und bei b zu endigen; der Draht vom negativen Pole endigt dagegen bei o und schleift dort beständig auf der Metallplatte. Bei der Stellung, welche die Maschine in unserer Zeichnung besitzt, hat die Kurbel den Elfenbeinschieber soweit herangezogen, daß der Strom nunmehr den Elektromagneten E′ umkreist, während der Draht a vom Metalle auf das Elfenbein übergeht. Bei dieser Stellung wird also der Strom, welcher E umkreiste, unterbrochen, dafür kann er aber nun E′ umfließen, sodaß nunmehr der Balancier bei E′ herabsinkt, sobald nur das Schwungrad über den todten Punkt hinweggeholfen hat. Von dieser Stellung an wird der Schieber weiter nach Rechts gezogen, sodaß während der nächsten halben Umdrehung die metallische Verbin-

dung zwischen o und a geschlossen bleibt: hat sich aber das Rad um eine halbe Umdrehung weiter gedreht, sodaß nunmehr die Eisenkerne von E' in die tiefste, die von E in die höchste Lage gekommen sind, so ist auch der Schieber wieder soweit zurückgeglitten, daß die Verbindung bei b unterbrochen, bei a geschlossen wird und der Elektromagnet E in Thätigkeit kommt. Da die magnetische Anziehung mit der Entfernung sehr schnell abnimmt, so dürfen sich die beweglichen Eisenkerne von den festen, die sich in den Rollen befinden, nie weit entfernen und der Balancier kann deshalb nur kleine Oscillationen ausführen. Will man also die Weite der Bewegung vergrößern, so muß man den Balancier durch Ansetzen einer größeren Stange verlängern und an dieser erst die Bleuelstange befestigen.

§ 2. Rotierende elektrische Motoren.

Während bei dem jetzt besprochenen Elektromotor die erzeugte Bewegung zunächst eine oscillierende war, welche erst durch Bleuelstange

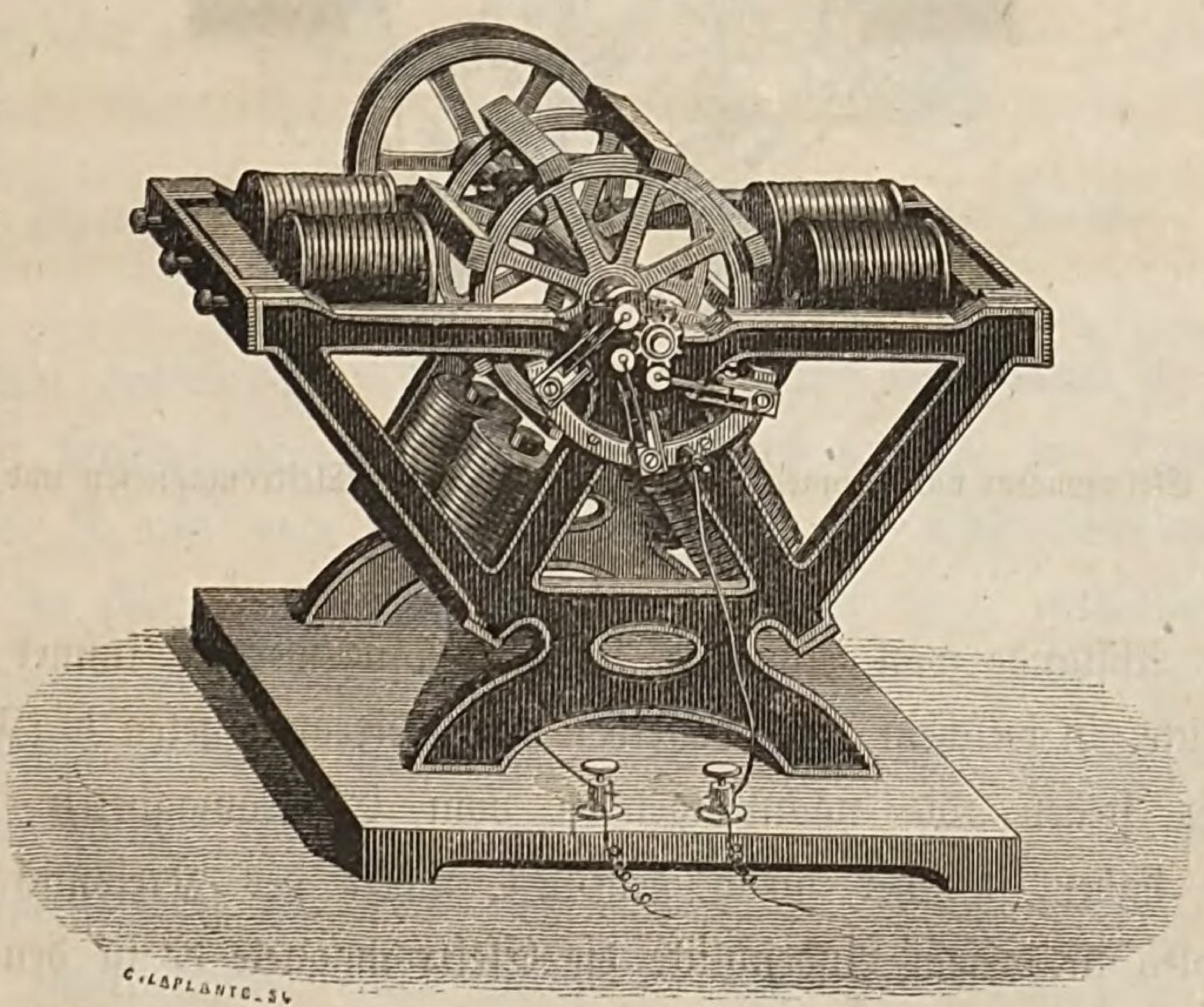


Fig. 381. Rotierender Elektromotor von Froment.

und Kurbel in eine rotierende verwandelt wurde, so hat man andrerseits auch vielfach elektromotorische Maschinen construiert, welche sofort eine rotierende Bewegung hervorrufen, und wir wollen von diesen als Beispiel die von Froment erfundene Maschine jetzt beschreiben.

Beim Elektromotor von Froment (Fig. 381) sind sechs Elektromagneten an einem Gerüste befestigt und gleichmäßig im Kreise vertheilt: in unserer Zeichnung sind die beiden obersten Elektromagnete mit dem entsprechenden Theile des Gerüstes weggelassen worden um den Blick auf das bewegliche Rad und die an ihm befestigten Anker frei zu geben, während Fig. 382, welche das Eingreifen der Elektromagnete und die Umwechselung der Ströme deutlich macht, alle sechs Magnete enthält. Inmitten dieser sechs Elektromagnete liegt die Triebwelle, welche außer dem Schwungrade noch zwei concentrische Räder trägt, auf denen acht Anker aus weichem Eisen befestigt sind. Da sich auch diese Anker in

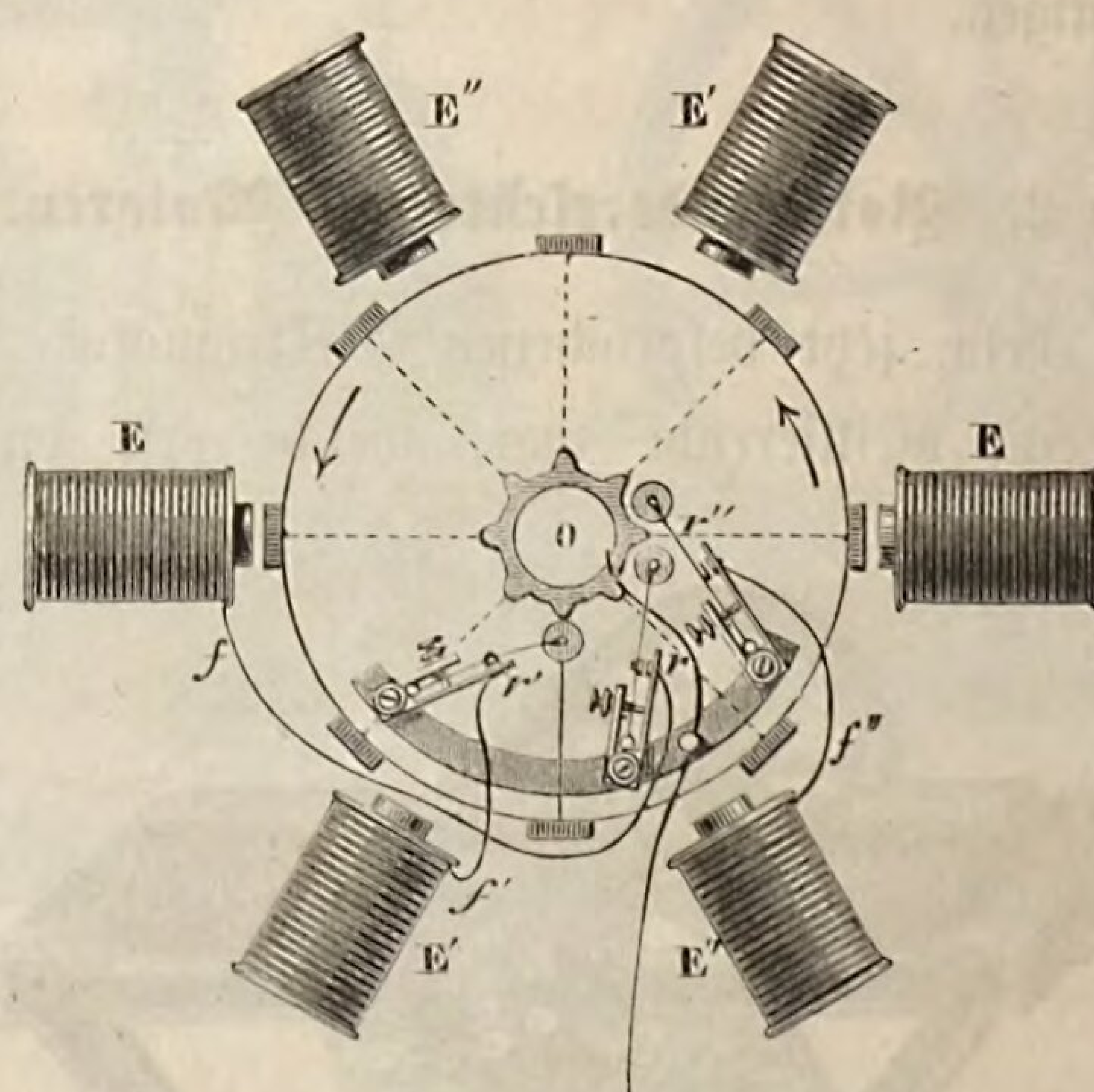


Fig. 382. Elektromotor von Froment: gegenseitige Lage der Elektromagneten und der Anker.

gleichem Abstande von einander befinden, so werden immer in dem Augenblicke, in welchem zwei derselben den Elektromagneten E (Fig. 382) gegenüber stehen, die nächstfolgenden vom Elektromagneten E' einen Abstand haben, welcher gleich dem 24. Theil des Kreisumfanges ist. Wenn also in diesem Augenblicke die Elektromagnete E' in den Stromkreis eingeschaltet werden, so ziehen sie die nächstliegenden Anker an und drehen die Axe in der Richtung, welche durch die Pfeile angegeben wird.

Durch einen Mechanismus, den wir sofort beschreiben werden, ist nun die Einrichtung so getroffen, daß jedesmal, wenn zwei Anker zweien Elektromagneten gegenübertreten, der Strom für diese Elektromagneten unterbrochen, für die nächstfolgenden aber geschlossen wird. Dieser Wechsel

des Stromes wird durch das kleine Rad O bewirkt, welches auf der Triebwelle aufsitzt und acht Zähne trägt, die nach den Ankern hin gerichtet sind; dieses Rad steht beständig mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung, während von je zwei einander gegenüber stehenden Elektromagneten ein gemeinsamer Leitungsdraht zum negativen Pole führt. In gleicher Weise vereinigen sich die anderen Enden der Drähte, welche die beiden Elektromagneten E umkreisen, in dem gemeinsamen Drahte f, welcher zu dem Unterbrechungsapparate r führt. Ebenso sind die Elektromagnete E′ und E″ durch die Drähte f′ und f″ mit r′ und r″ verbunden.

Die Einrichtung der Unterbrechungsapparate ist aus Fig. 383 zu ersehen. Wir bemerken daselbst eine federnde Metallplatte, welche einen Platinknopf m′ und eine Metallrolle r trägt. Solange diese Rolle in einer Lücke des Zahnrades, das hier mit R bezeichnet ist, liegt, so ist

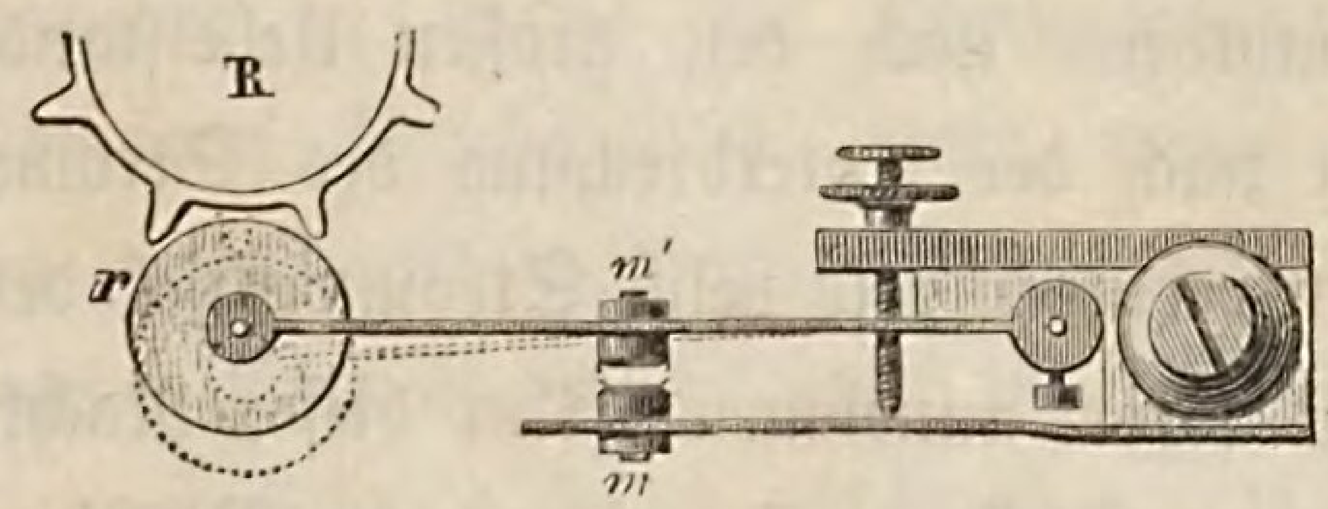


Fig. 383. Unterbrechungsapparat des Elektromotors von Froment.

der Contact unterbrochen: drückt aber ein Zahn des Rades die Rolle r herab, so berührt der Knopf m′ den Knopf m und der Strom kann vom Rade R aus nach den entsprechenden zwei Elektromagneten hinfließen. In Fig. 382 wird gerade der Contact bei r′ geschlossen, sodaß die Elektromagnete E′ die Anker anziehen: sobald letztere sich nun bis zu den Elektromagneten hin bewegt haben, öffnet sich der Contact bei r′ und dafür schließt der rechts liegende Zahn den Contact r″ und bewirkt die Magnetisierung von E″. Die Größe der Zähne ist so bemessen, daß die Unterbrechung eines Stromes nicht eher eintritt, als bis der nächste Strom bereits geschlossen ist: durch dieses Mittel werden die Extraströme, die beim Oeffnen des Stromes sich bilden und in Form von starken Funken überspringen, sehr geschwächt und dadurch die Berührungsstellen vor zu starker Oxydation geschützt.

§ 3. Anwendung der elektromagnetischen Maschinen.

Wie wir bereits bei Besprechung der Jacobi'schen Versuche erwähnten, ist es bis jetzt noch nicht gelungen elektromotorische Maschinen von etwas größerer Kraft zu construieren, sodaß keinesfalls dieselben zur Zeit mit den durch Wärme getriebenen Motoren in Concurrenz treten könnten. Ob dies mit der Zeit gelingen wird und ob es besonders möglich ist die Betriebskosten, welche sich jetzt noch sehr hoch stellen, wesentlich zu vermindern, muß die Zukunft lehren: auf alle Fälle hat man die Versuche durchaus noch nicht aufgegeben und so wird z. B., wie man liest, jetzt ernstlich daran gedacht auf einigen Strecken in Berlin den Verkehr durch Wagen zu vermitteln, die durch Elektricität getrieben werden; ein solcher von Siemens und Halske erbauter Wagen befindet sich bereits in der Berliner Gewerbe-Ausstellung. Abgesehen vom Kostenpunkte zeigen die Elektromotoren noch den großen Uebelstand, daß die Kerne aus weichem Eisen nach der Unterbrechung des Stromes ihren Magnetismus nicht sofort verlieren und beim Stromwechsel den entgegengesetzten Magnetismus nicht sofort annehmen. Um diesen Nachtheil zu vermeiden hat schon vor Jahren Stöhrer eine sinnreiche Maschine construiert, bei welcher die beweglichen Theile nur aus Drahtspiralen bestehen, in denen sich keine Eisenkerne befinden, während die feststehenden Elektromagneten beständig in demselben Sinne magnetisiert bleiben; doch auch diese Maschine konnte in der Praxis keine Anwendung finden, da auch bei ihr der Betrieb kostspielig war.

Wenn somit in allen den Fällen, wo es sich um größere Kraftentwickelung handelt, die Elektromotoren weit hinter den calorischen Maschinen zurückstehen, und wenn deshalb auch nicht zu erwarten ist, daß sie bald in der Industrie Eingang finden werden, so gewähren sie andrerseits gewisse Vortheile, durch welche sie allen anderen Motoren überlegen sind, und welche ihre Einführung überall da empfehlenswerth machen, wo es auf große Regelmäßigkeit und Gleichheit in der Bewegung oder auf große Geschwindigkeit ankommt, oder wo es gilt auf große Entfernungen hin eine Thätigkeit zu übertragen. In allen diesen Fällen zeigen sie sich weiter auch deshalb sehr anwendbar, weil sie mit großer Leichtigkeit sowohl in Gang gesetzt, als auch wieder angehalten werden

können, weil ferner ihr Betrieb mit durchaus keiner Gefahr verbunden ist und weil sie selbst nur wenig Raum in Anspruch nehmen. So bediente sich der Erfinder des so eben besprochenen rotierenden Elektromotors Froment derartiger Maschinen bei den sehr feinen Operationen, die er bei seinen Untersuchungen über wissenschaftliche Mechanik ausführte: durch sie ließ er die Schraubengänge weiterdrehen und besonders auch die Theilmaschinen in Gang setzen, die er bis zu solcher Feinheit construierte, daß er mit ihnen 1000 Striche nebeneinander auf dem Raume eines Millimeters auf einem Glasstabe einritzen konnte. Welche Präcision man von diesen Maschinen erwartet, geht aus folgender Stelle hervor, die wir einem Berichte des berühmten Chemiker Dumas entnehmen: „Als wir bei Gelegenheit der Weltausstellung in London uns zu einer Sitzung vereinigt hatten, zog Herr Froment während der Verhandlung seine Uhr heraus und sagte zu uns: jetzt fehlen noch zehn Sekunden an 12 Uhr; in diesem Augenblicke setzt die Pendeluhr in meinem Arbeitszimmer zu Paris die Theilmaschine in Gang. Der Diamant beschreibt fünf Striche in die Luft, wobei er selbst in gleichmäßige Bewegung geräth und wodurch sich das Oel in den Axenlagern ein wenig erwärmt. Hierauf macht er fünf ungiltige Striche auf die Glastafel, damit man sieht, daß er einschneidet. Unterdessen ist er bis zu der Stellung vorgerückt, wo seine Arbeit beginnen soll; er führt nun die Theilung weiter durch, zieht kurze Striche für die einzelnen Tausendstel des Millimeters, dann von fünf zu fünf etwas längere und von zehn zu zehn noch längere. Nunmehr hat er 500 Striche gezogen und damit seine Aufgabe vollendet; er bleibt auf der Stelle stehen die Spitze nach Oben gerichtet und bereit von Neuem zu beginnen. Zugleich hat er aber auch an der Pendeluhr 30 Sekunden nach 12 Uhr markiert, damit sich der Meister nach seiner Rückkunft nach Paris davon überzeugen kann, daß ihm sein elektrischer Sclave mit peinlicher Genauigkeit gehorsam war.“ Diese Worte lassen deutlich erkennen, daß man von der Elektricität, wenn man sie als bewegende Kraft gebrauchen will, nicht die Entwickelung einer bedeutenden Energie, wohl aber große Regelmäßigkeit und Geschwindigkeit verlangen darf: daher zeigt sich der elektrische Strom ganz besonders anwendbar für solche Apparate, die ähnliche Wirkungen hervorbringen sollen wie die Telegraphen und die mit ihnen verwandten Instrumente, die wir in den vorhergehenden Kapiteln besprochen haben.

Jetzt wollen wir nur noch zum Schlusse zwei weitere Anwendungen des Elektromagnetismus kurz erwähnen.

Wenn in den Werkstätten der Metallarbeiter zugleich Eisen und Messing oder Kupfer verarbeitet wird, so kann man sehr leicht die Feilspäne mit Hilfe eines Magneten von einander trennen, da derselbe wohl die Eisenspäne anzieht, nicht aber die Partikelchen anderer Metalle. Dieses Verfahren läßt sich nun auch zur Anwendung bringen, wenn es gilt in den Eisenbergwerken die metallhaltigen Theile vom tauben Gesteine zu trennen, wenn beide zuvor fein gemahlen sind, und der französische Chemiker Chenot hat zu diesem Zwecke eine Maschine erbaut, durch welche diese Aufgabe in sehr vollkommner Weise und sehr schnell gelöst wird.

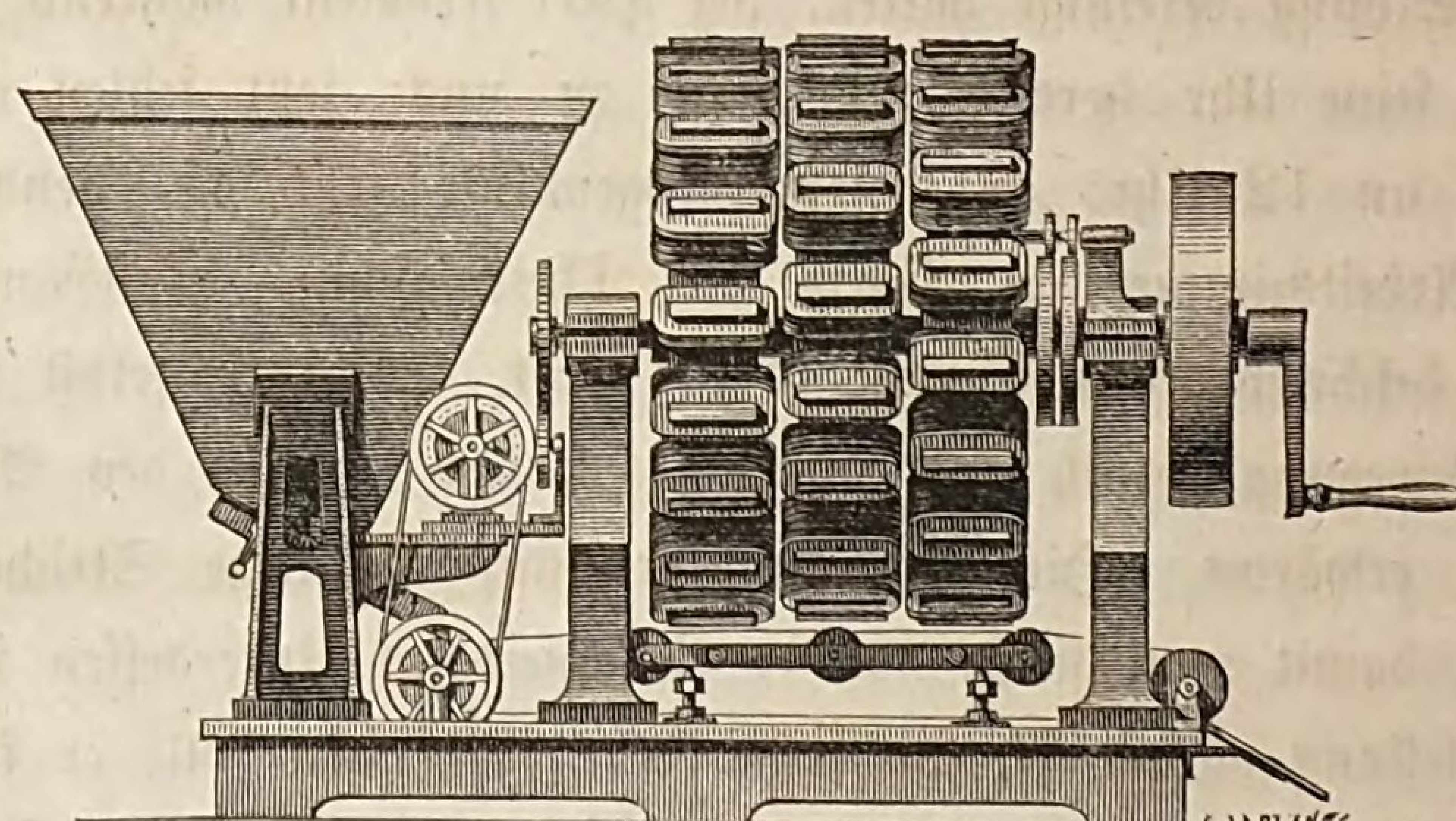


Fig. 384. Erzscheidemaschine von Chenot.

Die elektrische Erzscheidemaschine von Chenot (Fig. 384) besteht aus einem Trichter, in welchen das zu Staub geriebene Gestein geschüttet wird: dasselbe fällt aus der unteren Oeffnung des Trichters auf ein feines Metallnetz, welches sich in Form eines Bandes ohne Ende um zwei Rollen schlingt, die durch eine Transmission zugleich mit der Maschine in Bewegung versetzt werden. Während dieser Bewegung gleitet das Metallnetz unter drei aufrechtstehenden Rädern hindurch, die rings auf ihrem ganzen Umfange mit Elektromagneten besetzt sind, welche mit einem auf der gemeinsamen Drehungsaxe aufsitzenden Commutator in Verbindung stehen. Für jeden dieser Elektromagneten wird die Stromleitung aber erst geschlossen, wenn er bei der Umdrehung der Räder auf die untere Seite in die Nähe des Metallnetzes gelangt: er

zieht alsdann die eisenhaltigen Theilchen aus dem Gesteine, das auf dem Netze liegt, an sich, während das taube Gestein liegen bleibt und durch die Bewegung des Schnurlaufes zu einem zweiten Trichter weiter geführt wird. Sobald die Elektromagneten bis in einige Entfernung von dem Netze gelangt sind, wird der Strom für sie wieder unterbrochen, sodaß nun die Eisentheilchen wieder von ihnen abfallen und sich zur Seite des Apparates anhäufen. An Stelle der Elektromagnete hat Chenot auch Stahlmagnete angewendet, die nach dem Vorübergange über dem Netze zu Bürsten gelangen, welche die mitgenommenen Eisentheilchen von ihnen abstreifen.

Schließlich wollen wir noch die Einrichtung erwähnen, die der Ingenieur Achard bei den Bremsen der Dampfwagen angebracht hat. Wenn ein Dampfzug zum Stillstand gebracht werden soll, so werden bekanntlich dicke Holzklötze mit großer Kraft gegen den Umfang der Räder gepreßt und dadurch letztere an der weiteren Rotation gehindert, sodaß an Stelle der rollenden Reibung die gleitende Reibung eintritt. Ist nun ein Zug sehr schwer oder befindet er sich in sehr schneller Bewegung, so muß, wenn das Anhalten in kurzer Zeit erfolgen soll, eine ziemlich bedeutende Kraft auf die Bremsklötze wirken. Achard hat nun die glückliche Idee gehabt diese Kraft aus der lebendigen Kraft des im Gange befindlichen Zuges selbst herzuleiten, das Einwirken dieser Kraft aber durch Eingreifen des Elektromagneten herbeizuführen. Bei der **elektrischen Bremse von Achard** (Fig. 385) ist auf der Axe A eine excentrische Scheibe C befestigt, welche einen Ring trägt, der bei der Umdrehung des Rades die Bleuelstange B in eine hin- und hergehende Bewegung versetzt. Durch ein doppeltes Gelenk werden diese Oscillationen auf die Axe O übertragen, an welcher ein Hebel e mit einem Anker aus weichem Eisen p festsitzt. Diesem Anker gegenüber befindet

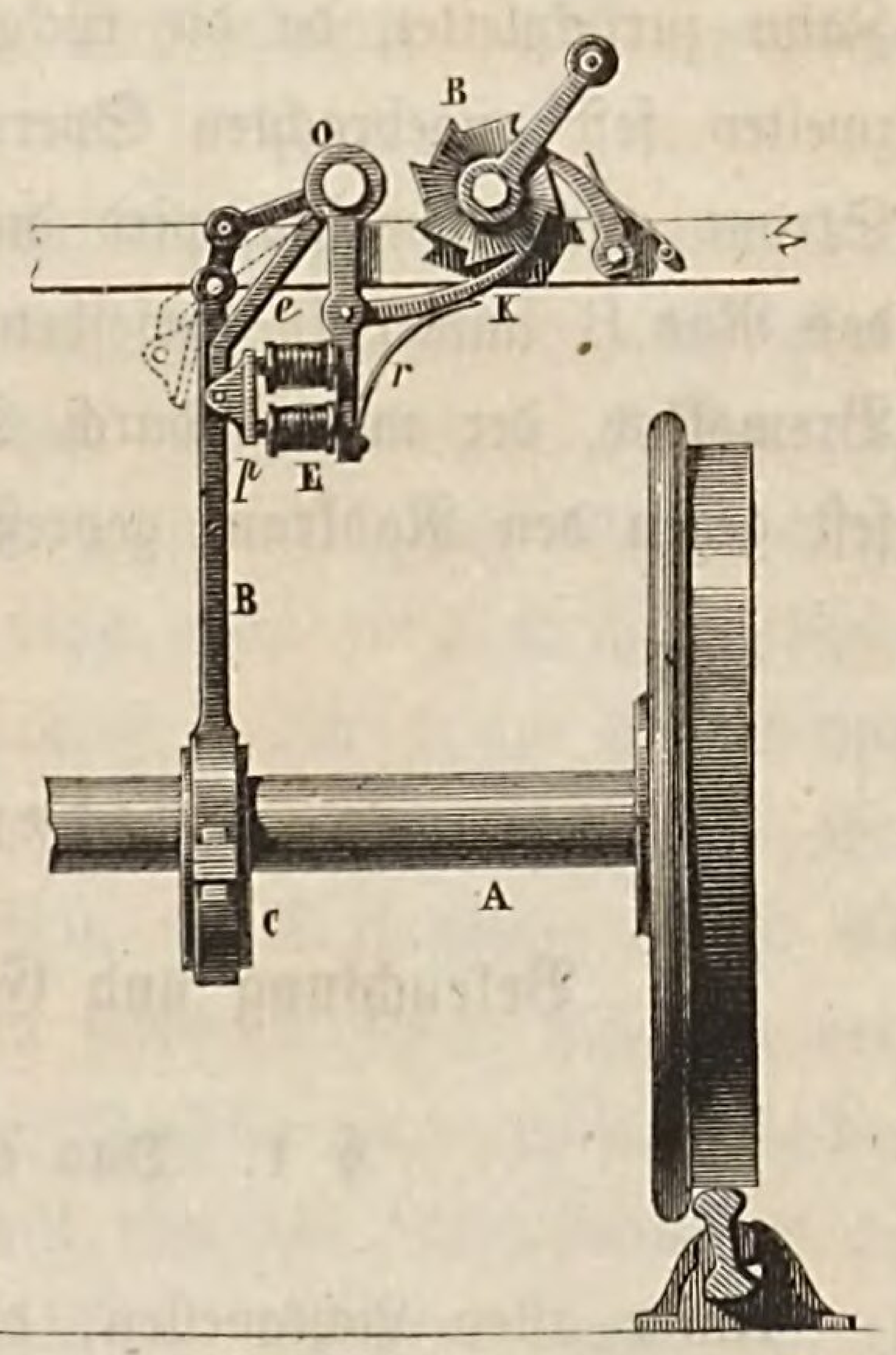


Fig. 385. Elektrische Bremse von Achard.

sich der Elektromagnet E, in welchem aber keine Ströme kreisen, so lange der Zug ruhig im Gange bleiben soll: mag also in dieser Zeit der Anker p beständig hin- und herschwingen, so wird E dafür vollständig unempfindlich sein. Will man aber den Zug zum Stillstehen bringen, so schließt man den Strom einer Batterie und macht dadurch E magnetisch; nunmehr nimmt der Anker p bei seiner hin- und hergehenden Bewegung den Elektromagneten, der an einem Hebel befestigt ist, mit sich. An demselben Hebel, der den Elektromagneten trägt, ist aber ein Sperrkegel K befestigt, welcher bei jedem Hingange das Steigrad B um einen Zahn weiter schiebt, während er beim Rückgange über den nächsten Zahn zurückgleitet, da die rückgehende Bewegung des Rades durch einen zweiten fest angebrachten Sperrkegel gehindert wird. Sobald also der Strom geschlossen ist, wird durch die Umdrehung der Wagenaxe selbst das Rad B immer in derselben Richtung herumgedreht und dadurch der Bremsklotz, der mit B durch Schrauben und Hebel verbunden ist, sehr fest gegen den Radkranz gepreßt.

Siebentes Kapitel.

Beleuchtung und Entzündung durch Elektricität.

§ 1. Das elektrische Kohlenlicht.

Unter allen Lichtquellen, die uns zu Gebote stehen, ist nächst dem Lichte der Sonne der sogenannte Volta'sche Lichtbogen die bei Weitem stärkste: derselbe entsteht, wenn der elektrische Strom einer starken Batterie oder eines kräftigen Inductionsapparates zwischen zwei aus Kohle gebildeten Spitzen, die einen geringen Abstand von einander haben, überspringt. Diese Lichtquelle für die verschiedensten Zwecke auszubeuten, sei es im gewerblichen Leben oder für wissenschaftliche Zwecke, ist eine Aufgabe, mit deren Lösung man sich schon seit Jahrzehnten beschäftigt: schon zu wiederholten Malen hat man mit gutem Erfolge Straßen und öffentliche Plätze erleuchtet, besonders wenn es galt Arbeiten auszuführen, welche auch während der Nacht nicht unterbrochen werden sollten; man hat es angewendet in Bergwerken, wie auch unter Wasser beim Legen des Grundes für Brückenpfeiler; eine ganz besondere Wichtigkeit hat es

im letzten Kriege erlangt, wo es als mächtiges Hilfsmitttel für das Auskundschaften der Stellung des Feindes und der Arbeiten, die er unternimmt, gebraucht wurde, aber ebenso wichtige Dienste leistet es für die friedlichen Zwecke der Beleuchtung der Meeresküste, und mehrfach ist es schon auf Leuchtthürmen eingeführt. Zur Hervorbringung von verschiedenen decorativen Effecten bei mancherlei Schaustellungen ist es schon längst im Gebrauche, in neuerer Zeit hat man aber auch nicht ohne Erfolg angefangen Arbeits- und Geschäftsräume durch dieses Mittel zu erleuchten und sehr bemerkenswerth sind die Erfahrungen, die man in neuerer Zeit an mehreren Orten gesammelt hat, z. B. in Berlin, wo man es in der mittleren Halle im Hofpostamte zur Anwendung gebracht hat.

Daß diese Beleuchtungsart noch nicht allgemeiner zur Anwendung gebracht worden ist, beruht zum Theil darauf, daß sie immer noch außerordentlich kostspielig ist, andererseits zeigen sich bei ihrer Anwendung aber auch mancherlei Schwierigkeiten, die man erst ganz allmählich zu überwinden lernt, ganz besonders ist es nicht leicht ein Licht herzustellen, das beständig in gleicher Stärke fortleuchtet. So lange der Strom zwischen den Kohlenspitzen übergeht, werden von beiden, besonders aber von derjenigen, die mit dem positiven Pole in Verbindung gesetzt ist, immerfort feine Theilchen losgerissen und fortgeschleudert: dieselben verbrennen und dadurch wird mit der Zeit der Zwischenraum zwischen beiden Kohlen so groß, daß der Strom und mit ihm das Licht bedeutend an Stärke verliert oder auch vollständig erlischt. Wendet man, wie es früher fast ausschließlich geschah, starke galvanische Batterien ohne Stromwechsel an, so nutzen sich beide Kohlenspitzen nicht gleichmäßig ab, sondern der Verlust, den die mit dem positiven Pole verbundene Spitze erleidet, ist ungefähr doppelt so groß als der der anderen Spitze; wird dagegen das Licht durch eine dynamo-elektrische Maschine hervorgerufen, wie dieselben jetzt zu diesem Zwecke von Siemens und Halske in vorzüglicher Güte angefertigt werden, so ist wegen des beständigen Stromwechsels, die Abnutzung beiderseits ungefähr gleich. Auf alle Fälle ist es nothwendig, daß die Spitzen immer wieder einander genähert werden, sobald der Zwischenraum zu groß ist, andererseits aber auch wieder etwas von einander entfernt, wenn sie etwa bis zur vollständigen Berührung nahe gekommen sein sollten, da das Licht bei einem gewissen Abstande

der Spitzen seine größte Intensität besitzt. Das Regulieren dieses Abstandes läßt man durch Vorrichtungen besorgen, zu deren Betrachtung wir uns jetzt wenden wollen.

Bei allen Regulatoren für das elektrische Licht werden alle nothwendigen Bewegungen unter der Einwirkung desselben Stromes hervorgerufen, welcher den Volta'schen Bogen bildet: ehe derselbe nämlich zu den Kohlenspitzen gelangt, umkreist er die Spiralen eines Elektromagneten, welcher einen Anker anzieht, so lange der Strom genügende Intensität besitzt. Wird der Strom dadurch, daß sich die Kohlenspitzen zu weit von einander entfernen, unterbrochen oder wenigstens in seiner Stärke verringert, so zieht eine Feder den Anker zurück und setzt irgend eine Vorrichtung in Gang, welche die Kohlenspitzen wieder einander nähert. Der letztere Mechanismus besteht gewöhnlich in einem Uhrwerke, welches durch Gewichte getrieben wird, in seinem Gange aber so lange gehemmt ist, als der Elektromagnet den Anker anzieht. Ist also der elektrische Strom in voller Stärke, so ist das Uhrwerk gesperrt, nutzen sich aber die Kohlenspitzen allmählich ab und wird der Strom schwächer, so läßt der Anker vom Magneten los und entfernt dabei die Sperrung der Uhr; dieselbe beginnt ihren Lauf und nähert die Kohlenspitzen wieder bis der Strom von Neuem eine solche Stärke erlangt hat, daß der Anker wieder angezogen wird und die Uhr zum Stillstehen bringt. Dies ist in allgemeinen Umrissen die Einrichtung der Regulatoren in den elektrischen Lampen, wir wollen jetzt an einigen Beispielen sehen, wie dieselben im Einzelnen beschaffen sind.

Wir erwähnen zuerst den Regulator von Duboscq (Fig. 386), welcher gut anzuwenden ist, wenn das elektrische Licht durch die Ströme einer constanten galvanischen Batterie, welche immer in derselben Richtung verlaufen, hervorgerufen wird. Der genannte, sehr geschickte Experimentator benutzte selbst seinen Apparat vielfach während der Vorlesungen, die er hielt, um mit demselben mikroskopische Objecte zu erleuchten, deren Bild dann durch Linsen auf einen Schirm projiciert wurde; er ersetzte also, wie dies jetzt auch anderwärts vielfach geschieht, das Licht der Sonne, welches im Sonnenmikroskope ähnlich wirkt, durch elektrisches Kohlenlicht. In Fig. 386 sehen wir zunächst bei c und c' die beiden Kohlenstifte, zwischen deren Spitzen der Lichtbogen sich bildet, und zwar ist die untere Spitze mit dem positiven Pole verbunden, infolge dessen sie sich doppelt

so schnell abnutzt als die obere. Der positive Poldraht ist an der Säule R befestigt, von welcher eine Leitung q nach den Spiralen des Elektro=

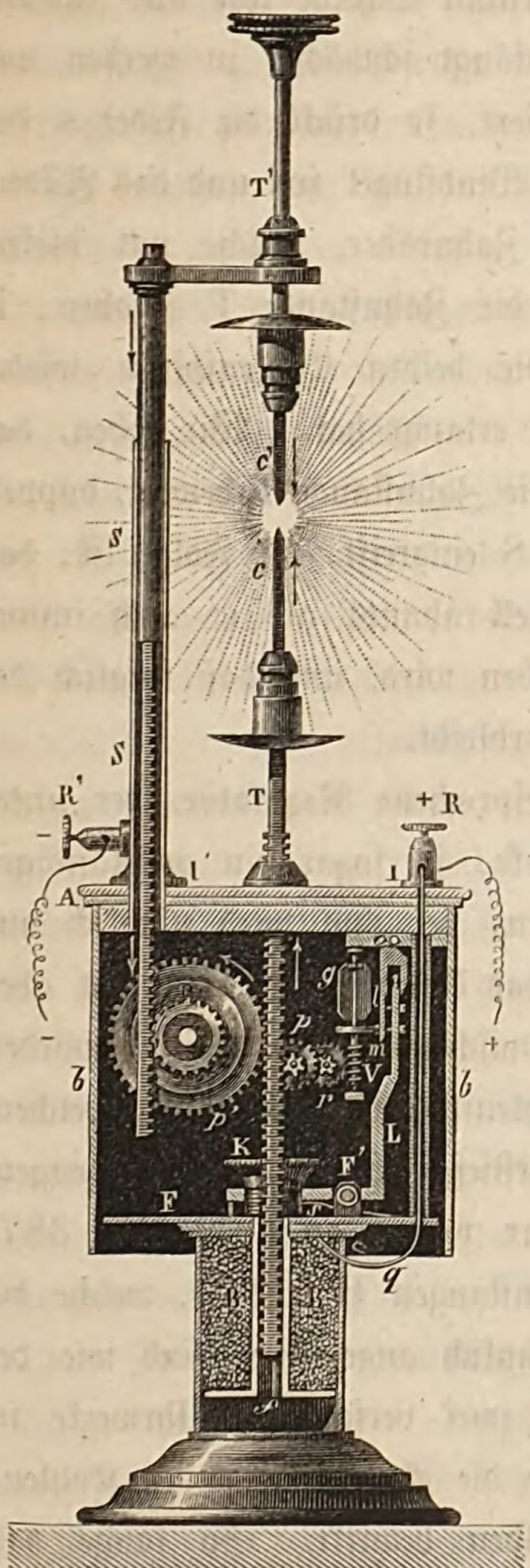


Fig. 386. Regulator der elektrischen Lampe von Duboscq.

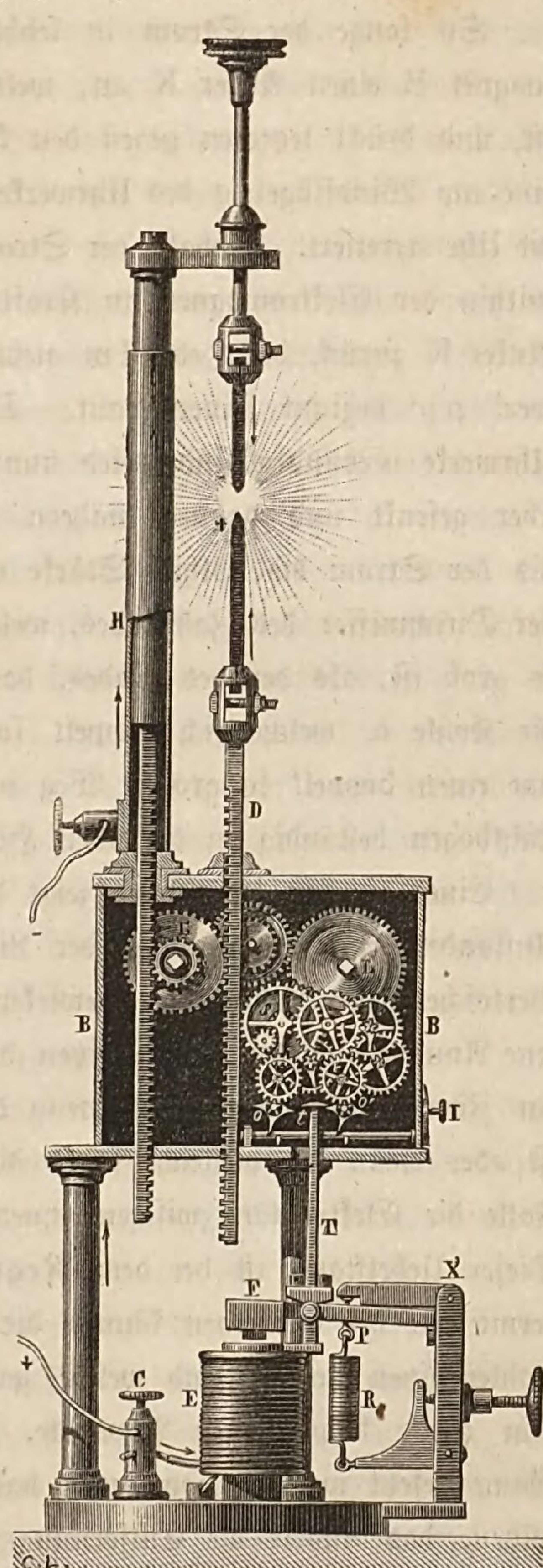


Fig. 387. Regulator der elektrischen Lampe von Foucault.

magneten B führt, von hier aus steigt der Strom durch die Zahnstange T auf und gelangt zu den Kohlenspitzen, um von dort aus durch T',

die Zahnstange S und die Klemmschraube R′ zum negativen Pole der Batterie zu gelangen.

So lange der Strom in lebhaftem Gange ist, zieht der Elektromagnet B einen Anker K an, welcher an dem Winkelhebel L befestigt ist, und drückt letzteren gegen den kleinen Hebel lm, der sich nun gegen eine am Windflügel g des Uhrwerkes befestigte Scheibe legt und dadurch die Uhr arretiert. Sobald der Strom anfängt schwächer zu werden und mithin der Elektromagnet an Kraft verliert, so drückt die Feder s den Anker K zurück, der Hebel lm giebt den Windflügel frei und das Räderwerk pp′ beginnt seinen Lauf. Durch Zahnräder, welche mit diesem Uhrwerke verbunden sind, wird nunmehr die Zahnstange T gehoben, T′ aber gesenkt und dadurch nähern sich die beiden Kohlenspitzen wieder bis der Strom die nöthige Stärke wieder erlangt hat. Wir sehen, daß der Durchmesser des Zahnrades, welches die Zahnstange T bewegt, doppelt so groß ist, als der des Rades, das in S eingreift, die Folge ist, daß die Kohle c, welche sich doppelt so schnell abnutzt als c′ auch immer um einen doppelt so großen Weg verschoben wird, und daß folglich der Lichtbogen beständig in derselben Höhe verbleibt.

Einen großen Uebelstand zeigt der besprochene Regulator, der unter Umständen eine Schwächung der Lichtstärke, ja sogar ein vollständiges Verlöschen des Lichtbogens bewirken kann: bei ihm wird nämlich nur eine Annäherung der Kohlenspitzen durch das Uhrwerk bewirkt, nicht aber ein Zurückweichen derselben, wenn der Zwischenraum zu klein geworden ist oder wenn sich vielleicht sogar die Kohlenspitzen berühren, in welchem Falle die Elektricität zwischen ihnen überfließt ohne Licht zu erzeugen. Dieser Uebelstand ist bei dem Regulator von Foucault (Fig. 387) vermieden: bei demselben können die Zahnstangen H und D, welche die Kohlenspitzen tragen und welche ganz ähnlich angeordnet sind wie bei dem zuvor besprochenen Apparate, durch zwei verschiedene Uhrwerke in Gang gesetzt werden, von denen das eine die Annäherung der Kohlenspitzen, das andere die Entfernung derselben bewirkt. So lange das elektrische Licht genügende Intensität besitzt, so lange also der elektrische Strom die geeignete Stärke hat, werden die Windflügel o und o′ beider Uhrwerke durch den Knopf t, der an der Stange T festsitzt, zugleich aufgehalten, sodaß keines von beiden Uhrwerken weiter gehen kann. Wird aber der Strom zu schwach infolge der Abnutzung der Kohlenspitzen, so

hat auch der Elektromagnet E, welcher von ihm durchflossen wird, nicht mehr Kraft genug um den Anker T anzuziehen und die Wirkung der Spiralfeder R, die durch Vermittelung des Hebels H den Arm P herabdrückt, zu überwinden. Die Folge ist, daß sich die Stange T, die mit dem Hebel, der den Anker trägt, fest verbunden ist, nach Rechts bewegt, dadurch wird der Windflügel o frei und das Uhrwerk, das die Kohlenspitzen nähert, geräth in Gang, in Folge der Steigerung der Stromstärke bekommt aber auch der Elektromagnet sehr bald wieder die nöthige Kraft, um den Anker anzuziehen und die Stange T in die Mittellage zurück zu versetzen, sodaß der Knopf t wieder beide Uhrwerke arretiert. Wird dagegen einmal die Annäherung der Kohlenspitzen zu groß und dadurch der Strom zu kräftig, so bewegt sich die Stange T nach Links, dadurch wird der Windflügel o' frei und das Uhrwerk, das die Spitzen von einander entfernt, geräth in Gang. Je nach der Stärke des elektrischen Apparates, durch den das Licht hervorgerufen wird, ist auch die Spannung der Spiralfeder R zu regulieren und zwar geschieht dies durch eine Schraube, die neben der Feder sichtbar ist, und, je nachdem die Ströme einer constanten galvanischen Batterie, welche immer dieselbe Richtung beibehalten, oder beständig wechselnde Inductionsströme angewendet werden sollen, richtet man den Mechanismus so ein, daß sich im ersteren Falle die Kohlenspitze des positiven Poles doppelt, im anderen eben so schnell bewegt als die des negativen Poles.

Auf einem weit einfacheren Principe beruht die Differentiallampe von v. Hefner-Alteneck, von welcher wir in Fig. 388 eine schematische Darstellung geben. Bei derselben ist das eine Kohlenstäbchen g an einem Hebel cc befestigt, der seinen Drehpunkt in d hat und auf der entgegengesetzten Seite zwei Eisenkerne SS' trägt, die fest mit einander verbunden sind. Um diese Kerne schlingen sich die Drähte der Stromleitung, welche sich bei L in zwei Zweige R und T theilt. Der eine Zweig T besteht aus sehr vielen Windungen aus feinem Drahte und setzt daher dem Strome einen starken Widerstand entgegen; er umkreist den Eisenkern S' und kehrt darauf bei b unmittelbar zur Hauptleitung L_1 zurück. Der andere, aus stärkerem Drahte gebildete Zweig R umkreist den Eisenkern S und führt dann durch den Hebel cc zu den Kohlenspitzen gh, von wo aus er zur Hauptleitung L_1 zurückkehrt. Solange kein Strom vorhanden ist, sinken die Eisenkerne SS' vermöge

ihres Gewichtes herab und zwischen den Kohlenspitzen entsteht ein größerer Zwischenraum. Tritt nun der Strom ein, so kann er zunächst nur seinen Weg durch T nehmen: er zieht den Eisenkern S' an und bewirkt dadurch, daß sich die Kohlenspitzen gh bis zur Berührung nähern. Sobald die zweite Leitung hierdurch geschlossen ist, geht der größere Theil des Stromes durch dieselbe, weil sie den kleineren Widerstand bietet, und der Eisenkern S wird wieder herabgezogen. Bei der Trennung entsteht nun zwischen den Kohlenspitzen der Volta'sche Bogen, der dem Uebergange der Elektricität einen größeren Widerstand entgegensetzt: dadurch gewinnt der Strom in T wieder an Kraft und bewirkt die Annäherung der Spitzen, bis sich schließlich ein Gleichgewichtszustand herstellt, bei dem die Spitzen in gleichem Abstande verbleiben und das Licht seine Stärke dauernd behält.

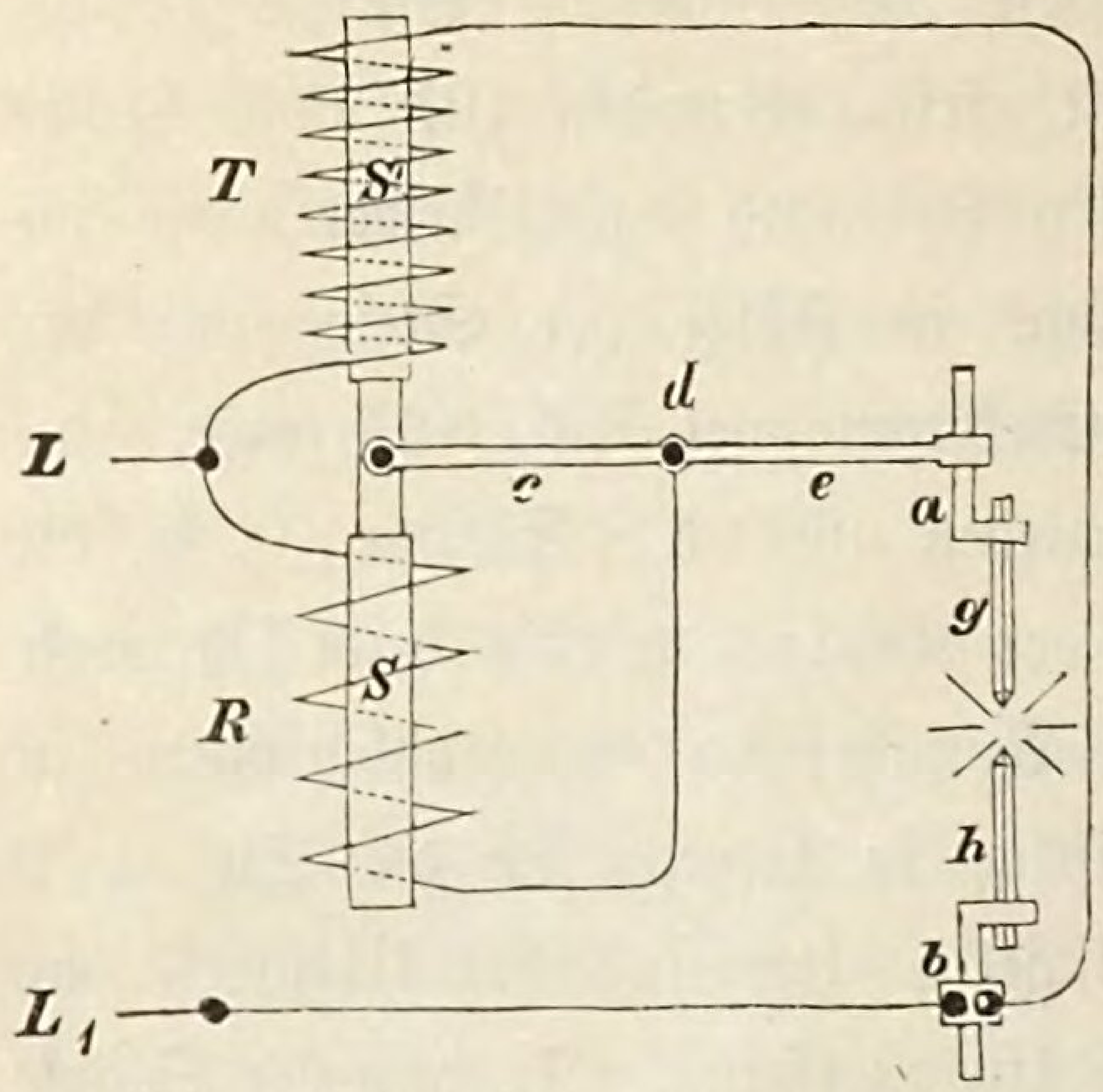


Fig. 388. Differentiallampe von v. Hefner-Alteneck.

Die Einführung der Differentiallampe hat namentlich den einen großen Vortheil gewährt, daß es möglich geworden ist, eine größere Anzahl von Bogenlichtern in denselben Stromkreis einzuschalten, ohne daß man befürchten muß, daß eine Störung in einer derselben ein Verlöschen der andern nach sich zieht. Denn wenn z. B. durch Abspringen der Kohle in einer Lampe der Hauptstrom R unterbrochen wird, so findet die Elektricität doch immer ihren Weg durch die Leitung T und speist nach wie vor die übrigen Lampen. Bei Anwendung anderer Beleuchtungsapparate läßt sich deren Unabhängigkeit unter einander nur dadurch herbeiführen, daß man jeden einzelnen derselben nicht in die Hauptleitung, sondern in Nebenschließungen einschaltet, daß man also nur einen Theilstrom zur Erzeugung des Lichtes benutzt.

In den Lampen für das elektrische Bogenlicht kommen vielfach an Stelle der zwei einander gegenüberstehenden Kohlenspitzen die Jabloch-koff'schen Kerzen zur Anwendung: dieselben bestehen aus zwei parallel neben einander liegenden Kohlenstäbchen, die durch eine isolierende Schicht

aus Gyps von einander getrennt sind, sodaß nur die äußersten Spitzen frei bleiben. Verbindet man beide Stäbchen mit den Stromleitern, so bildet sich zwischen den beiden freiliegenden Spitzen der Volta'sche Bogen, durch dessen Hitze der angrenzende Gyps geschmolzen wird. Wenn die Kohlenspitzen nun allmählich aufgebraucht werden, so rückt der Lichtbogen nach unten weiter, sodaß die Stäbchen langsam herabbrennen, wie eine Kerze. Damit beide Stäbchen gleich schnell verbrennen, dürfen natürlich nur solche Inductionsapparate angewendet werden, bei denen die Stromrichtung beständig wechselt: dergleichen Apparate werden wir am Ende des Buches besprechen.

Ein weit milderes und deshalb für Wohn- und Arbeitsräume sich besser eignendes Licht geben die Glühlampen, wie sie namentlich von Swan, Edison, Siemens und andern construirt wurden. Dieselben bestehen aus hohlen Glaskugeln, durch deren Deckel die beiden Leitungsdrähte isoliert ins Innere reichen. Die Enden dieser Drähte sind durch einen Kohlenbügel verbunden, den man durch Ausglühen von Bambus- oder Baumwollenfasern oder von Streifen von Cartonpapier hergestellt hat, und der beim Durchgange des Stromes ins Glühen geräth und ein sehr schönes weißes Licht aussendet. Damit der Bügel nicht verbrenne, müssen die Glaskugeln luftleer sein.

§ 2. Anwendung des elektrischen Lichtes.

Unter allen Anwendungen, die man vom elektrischen Kohlenlichte gemacht hat, ist wohl die wichtigste die Einführung desselben als Beleuchtungsmittel auf einigen der größeren Leuchtthürme. Denn wenn auch die Leuchtthürme erster Klasse durch Einführung des Fresnel'schen Linsenapparates für gewöhnliche Verhältnisse genügende Lichtstärke besitzen um Schiffe vor Gefahren an der Küste zu schützen, so reichen sie doch nicht aus, wenn in der Nacht die Luft ziemlich nebelig ist, wenn ihre Dienste also am dringendsten nothwendig sind. Zwar hat man versucht für solche Fälle die Zahl der Carcel'schen Lampen zu vergrößern, allein der Erfolg entsprach nicht den Erwartungen, sondern es zeigte sich, daß die Tragweite des Lichtes nicht nur von der Größe der leuchtenden Fläche, sondern auch von der Intensität jeder einzelnen Flamme abhängig ist. Der natürlichste Gedanke war nun, daß man auch zu diesem Zwecke die

stärkste aller bekannten künstlichen Lichtquellen, also das elektrische Kohlenlicht einführte, doch auch dieser Gedanke konnte erst zur Ausführung gelangen, nachdem die geeigneten Regulatoren für das Licht erfunden waren und nachdem man die Möglichkeit hatte, andauernd starke elektrische Ströme zu erzeugen. In ersterer Beziehung genügen z. B. die Regulatoren von Foucault und Duboscq, die wir besprachen, vollständig: die Ströme aber werden jetzt immer durch gewaltige Inductionsmaschinen erregt, welche schon seit längerer Zeit von der Alliance-Compagnie ge-

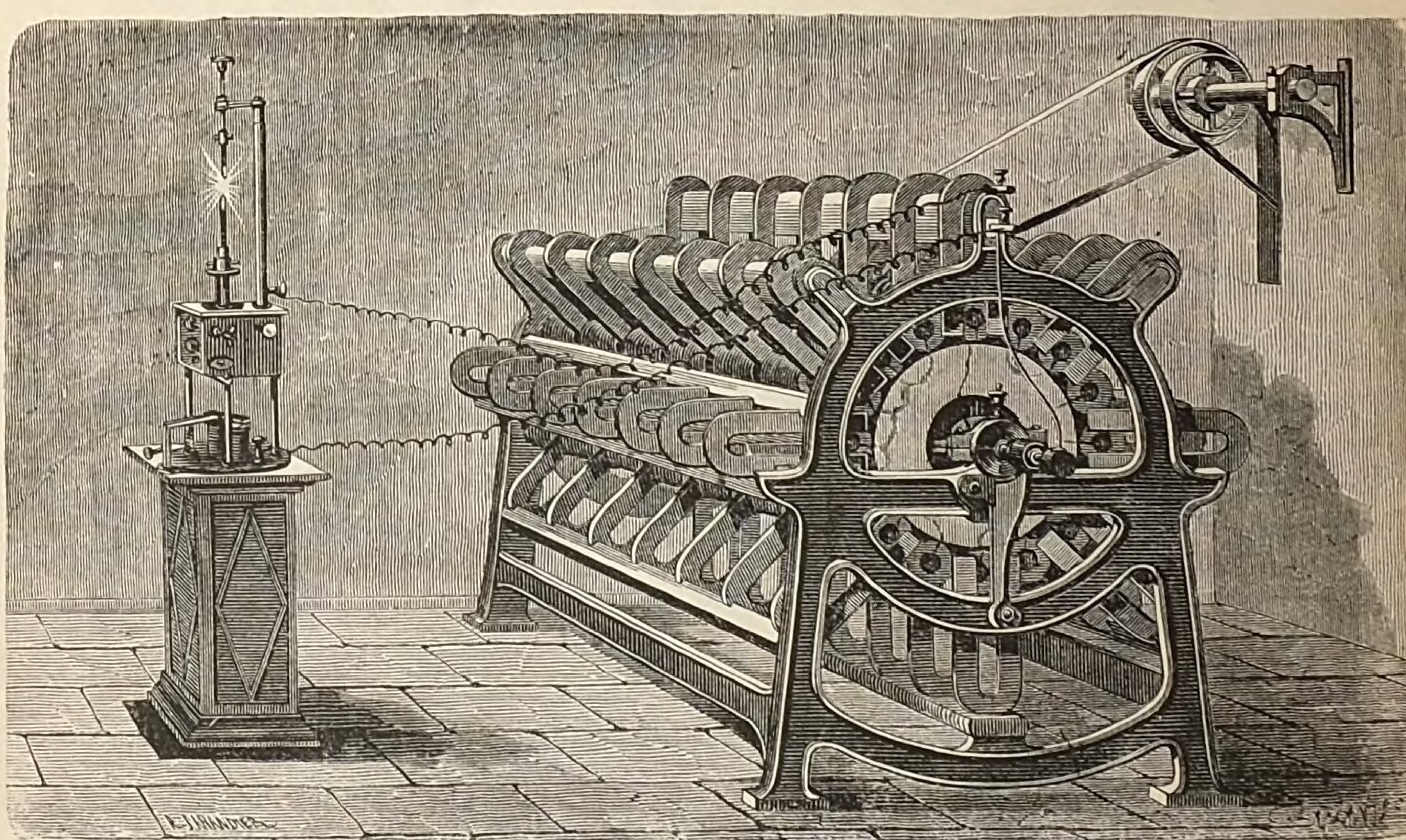


Fig. 389. Inductionsmaschine des Leuchtthurmes von la Hève.

liefert werden: einen solchen Inductionsapparat, welcher auf dem Leuchtthurme von la Hève an der Küste des Canals la Manche aufgestellt ist, zeigt Fig. 389.

Ein starkes Gerüst aus Gußeisen trägt eine Reihe von Kreisen, deren jeder aus acht starken Hufeisenmagneten gebildet ist, welche in der Richtung der Radien der Kreise, die Pole nach Innen gekehrt, fest aufgestellt sind. Vor den Polen dieser Magnete bewegen sich Eisenkerne mit Drahtspiralen in gleicher Zahl, welche an starken Metallrädern befestigt sind: die Enden der Drähte aber sind an Holzringen befestigt, die in der Nähe der Axe an den Rädern angebracht sind. Durch die

Drehung der Axe, auf welcher alle diese Räder mit den Eisenkernen und Drahtspiralen aufsitzen, werden letztere mit sehr großer Geschwindigkeit vor den Polen der Magnete vorübergeführt und hierbei in den Drähten ununterbrochen Inductionsströme erregt, welche durch eine geeignete Leitung zu den Kohlenspitzen und dem Regulator (Fig. 390) geführt werden und dort ein Licht von sehr bedeutender Intensität erzeugen.

Die magnetoelektrischen Inductionsmaschinen von la Hève werden durch zwei Dampfmaschinen von 5 Pferdekräften in Bewegung gesetzt und zwar mit einer Geschwindigkeit von 400 Umdrehungen in der Minute: die Versuche haben nämlich ergeben, daß bei dieser Geschwindigkeit die Intensität des Lichtes am größten ist und daß ein weiteres Steigern keinen Nutzen gewährt. Die Stärke des Lichtes, das durch einen Apparat hervorgerufen wird, dessen Axe vier Scheiben mit Drahtspiralen trägt, kommt dem Lichte von 3500 Carcel'schen Lampen gleich: bei sechs Scheiben erreicht es die Stärke von 5000 Lampen und leuchtet bis auf eine Entfernung von 27 Seemeilen oder 50 Kilometer. Diese ungeheuer starke Lichtquelle verdankt also ihre Entstehung der gemeinsamen Wirkung von Inductionsströmen, welche gleichzeitig in 96 Drahtspiralen durch die Einwirkung von 48 Magneten hervorgerufen werden.

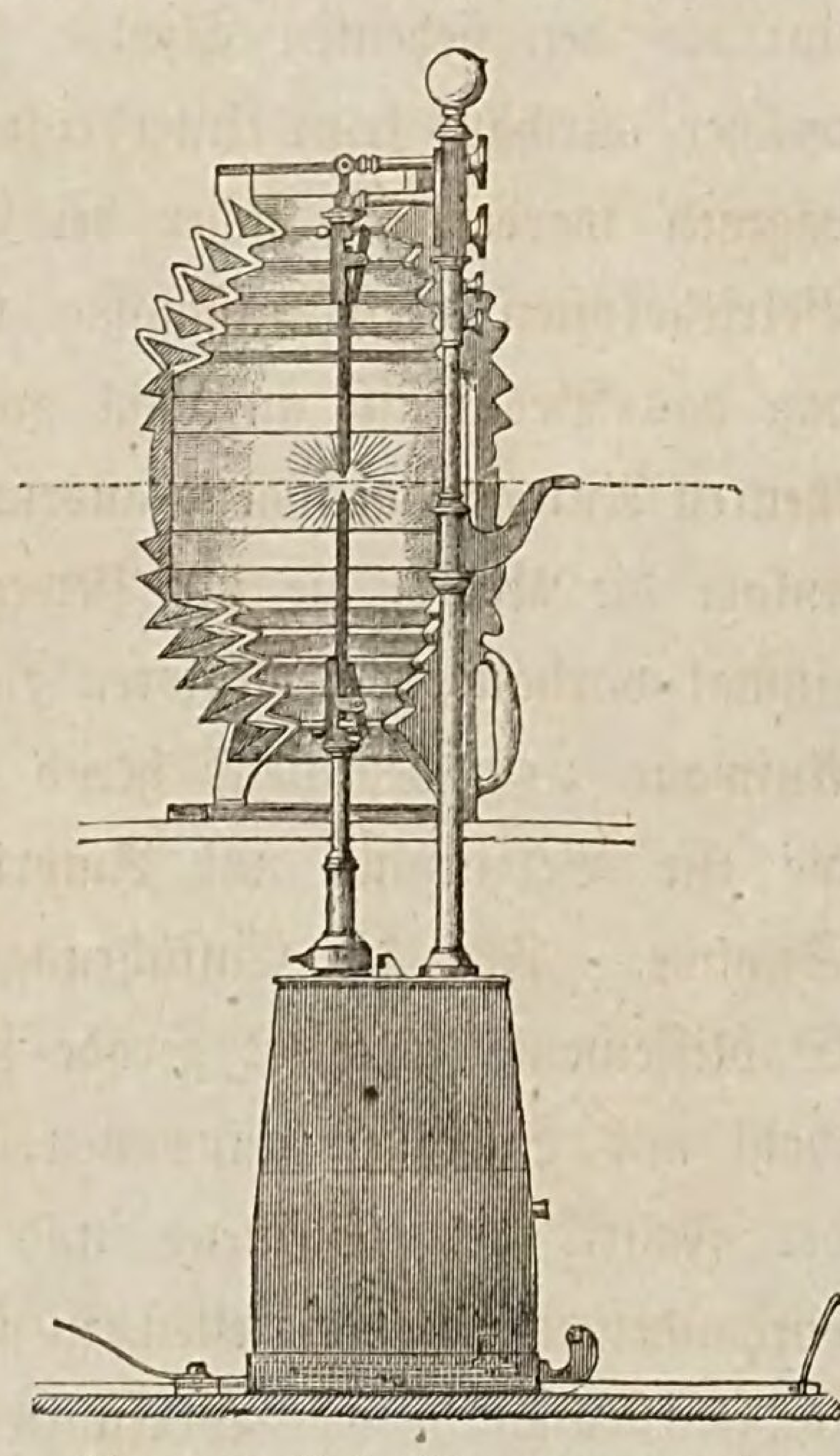
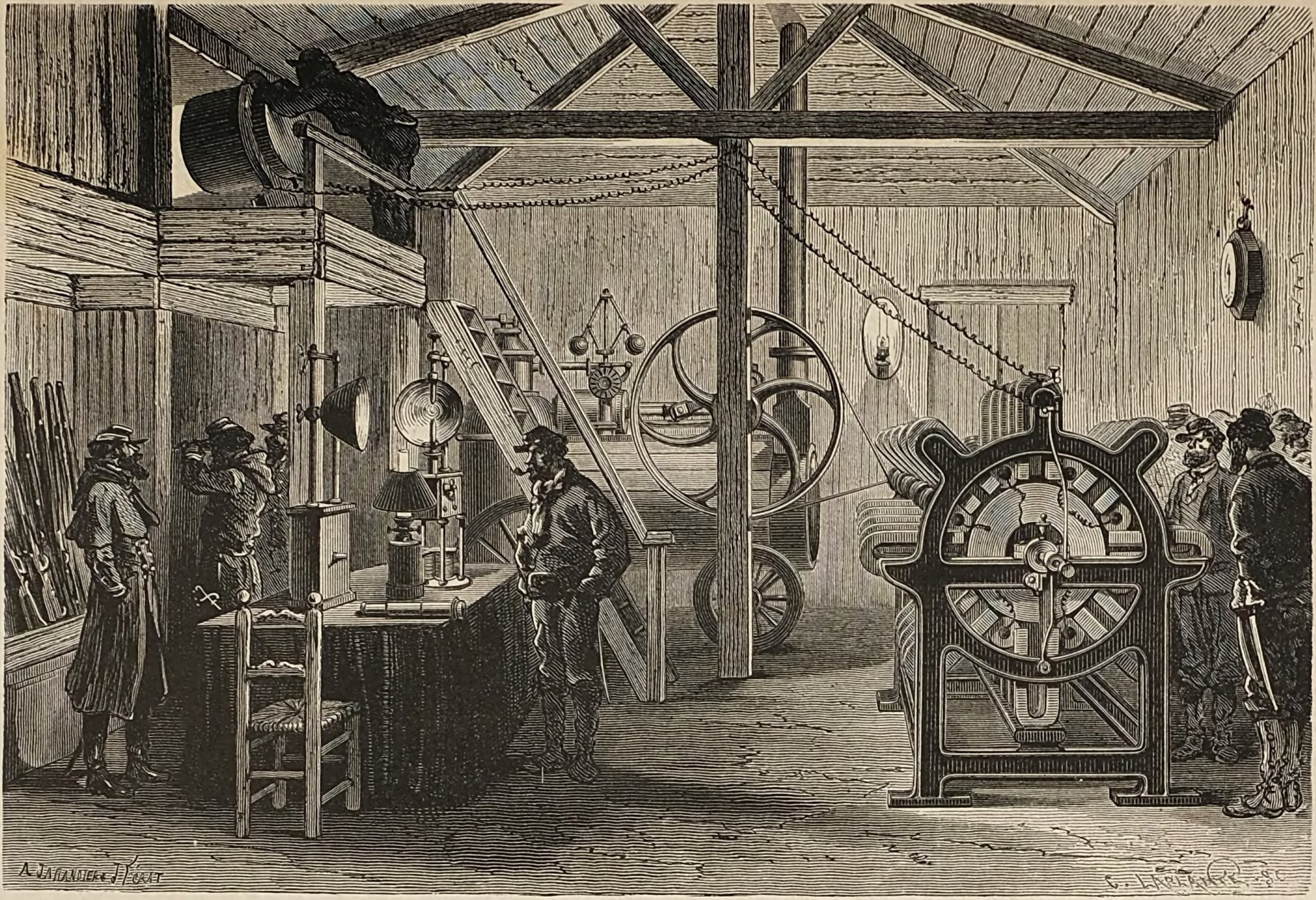


Fig. 390. Beleuchtungsapparat des Leuchtthurmes von la Hève.

Vier solche Maschinen arbeiten in den Leuchtthürmen von la Hève: alle Apparate sind daselbst in doppelter Anzahl vorhanden, damit jederzeit bei etwaigen Vorkommnissen sofort Ersatz geschafft werden kann. Die elektrischen Lampen ruhen auf den Schienen kleiner Eisenbahnen, welche bis in die Mitte der mit Fresnel'schen Linsen abgeschlossenen Laternen führen, und zwar sind in jeder Laterne immer zwei Beleuchtungsapparate über einander angebracht. Die Regulatoren sind nach Serrin's System construiert.

Das elektrische Licht, welches durch die Inductionsmaschinen hervorgerufen wird, übertrifft nicht allein an Intensität das Licht bei der Beleuchtung mit Oel mindestens im Verhältnisse von 5:1, sondern es stellt sich auch sogar noch etwas billiger: während das Licht eines Leuchtthurmes erster Ordnung mit Carcel-Lampen stündlich einen Aufwand von 3 Fr. 70 Cent. erfordert, bedarf ein elektrisches Licht in la Hève, das durch eine Maschine mit 4 Scheiben hervorgerufen wird, stündlich nur 2 Fr. 79 Cent.: bei gleicher Lichtstärke berechnet sich also der Aufwand nur auf den siebenten Theil. Hierbei handelt es sich um einen Dienst, welcher durchaus keine Unterbrechung erleiden darf, im gewerblichen Leben dagegen werden sich sicher bei Einführung geeigneter Vorrichtungen die Betriebskosten verhältnißmäßig noch geringer stellen, vorausgesetzt nur, daß das Bedürfniß an Licht groß genug ist, um die immerhin ziemlich theuren Anlagen genügend auszunutzen. Wenn besonders in einer Fabrikanlage die Kraft, die zur Bewegung der Maschinen erforderlich ist, den einmal vorhandenen Motoren entlehnt werden darf, so sinkt dadurch der Aufwand noch bedeutend herab und beträgt schließlich wenig mehr als die zur Verzinsung und Amortisation des Anlagekapitals erforderliche Summe. Für die Einführung des elektrischen Lichtes in gewerbliche Etablissements geschieht gerade jetzt außerordentlich viel und wir können wohl mit Sicherheit annehmen, daß es namentlich den rührigen Leitern der Fabrik von Siemens und Halske bald gelingen wird alle noch vorhandenen Schwierigkeiten zu überwinden und daß diese neue Beleuchtungsart auch in den Werkstätten und Fabriken, auf Bahnhöfen und in den Postanstalten, und in anderen ähnlichen Verhältnissen immer mehr Eingang finden wird.

Weiter hat man vor einiger Zeit auf österreichischen, französischen und amerikanischen Schiffen den Versuch gemacht, das Deck durch ein elektrisches Kohlenlicht, welches an dem Hauptmaste angebracht war, zu beleuchten, allein trotzdem daß diese Versuche recht gut gelangen, und daß diese Beleuchtungsart recht wohl geeignet wäre manchen Unfall abzuwenden, hat sie doch in der Praxis zunächst noch keinen Eingang gefunden. Zur Beleuchtung von Straßen und öffentlichen Plätzen fand sie dagegen zuerst Anwendung, als zur Zeit des zweiten Kaiserreiches der Seinepräfect Haußmann einen Theil der Stadt Paris umbauen ließ und damit so eilte, daß Tag und Nacht die Arbeiten nicht unter-



Maschine zur Erzeugung des elektrischen Lichtes bei der Belagerung von Paris.

brochen wurden. Andere Versuche, diese Beleuchtungsart auf den Straßen und Plätzen großer Städte unter gewöhnlichen Verhältnissen einzuführen scheiterten früher daran, daß das Licht gar zu grell und blendend war und nur von einem einzigen Punkte ausging, sodaß diejenigen Stellen, welche von seinen Strahlen nicht direct getroffen wurden, in um so tieferen Schatten fielen. In neuerer Zeit ist es nun gelungen durch Theilung des Stromes gleichzeitig mehrere elektrische Lichtbogen hervorzurufen, und damit ist auch die Möglichkeit gegeben für die Straßenbeleuchtung diese Lichtquelle nutzbar zu machen. Schon während der letzten Pariser Ausstellung wurde diese wirkungsvolle Beleuchtungsart auf dem Platze vor der großen Oper und auf dem Concordienplatze zur Anwendung gebracht.

Eine besonders merkwürdige Verwendungsart fand aber das elektrische Licht bei der Vertheidigung von Paris gegen die deutschen Heere im Jahre 1870—71. Damals waren besonders auf dem Mont Valérien und auf dem Plateau des Montmartre Apparate aufgestellt, welche dazu dienen sollten, durch plötzlich ausgesendete Lichtstrahlen während der Nacht die Arbeiten des Belagerungsheeres zu beobachten und den Geschützen das Ziel, auf das sie gerichtet waren, klar zu legen. Auch diese Lichtbogen wurden durch starke Inductionsmaschinen erregt, welche in den Werkstätten der Alliance-Compagnie erbaut waren; hinter den Kohlenspitzen aber waren parabolische Hohlspiegel so aufgestellt, daß das Licht in den Brennpunkt derselben fiel, daß mithin die Strahlen in paralleler Richtung weit hinausgeworfen wurden. Dadurch daß man diesen Spiegeln andere Richtungen gab, war es immer möglich abwechselnd die verschiedenen Punkte der Umgegend zu beleuchten. Tafel XVI gewährt einen Einblick in das Innere eines solchen Raumes, in welchem die Beleuchtungsapparate aufgestellt sind, während Tafel XVII die Wirkung der Beleuchtung zur Anschauung bringt: unsere Truppen wußten recht gut, daß sie sich eiligst hinter sichere Deckung zurückzuziehen hatten, sobald sie von einem solchen Strahlenbündel getroffen wurden, denn gewöhnlich schlug unmittelbar darauf eine Granate in nächster Nähe ein. Schließlich wollen wir noch erwähnen, daß man auch versucht hat für den Betrieb der Bergwerke Lampen zur Anwendung zu bringen, deren Licht durch Elektricität hervorgerufen wird. Da man sich aber in diesen Fällen mit einer weit geringeren Lichtstärke begnügen konnte, so sah man

von der Anwendung des elektrischen Kohlenlichtes ab und begnügte sich mit Inductionsfunken, welche im luftverdünnten Raume überspringen. In einem weiten Glasgefäße befindet sich eine mehrfach gewundene

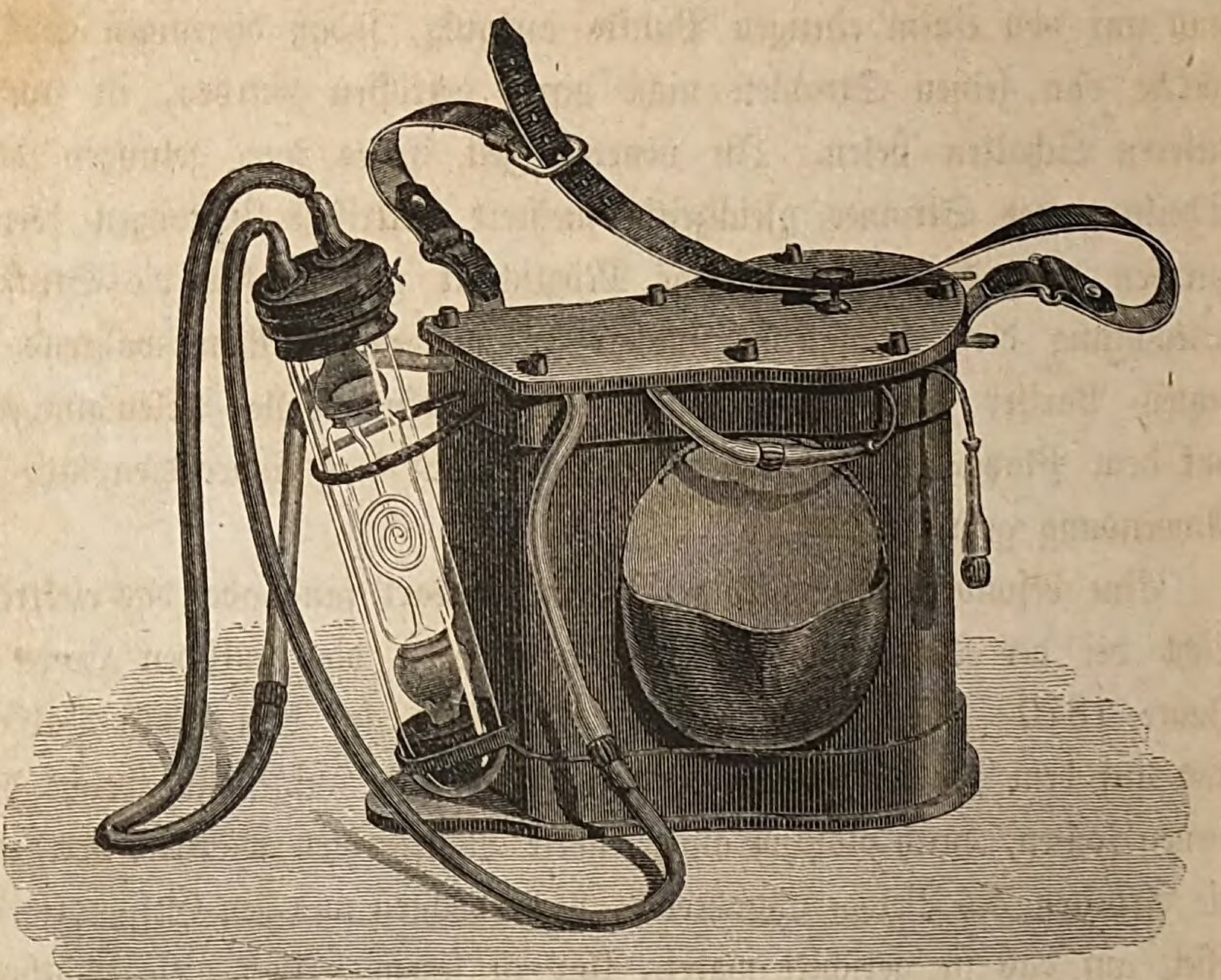


Fig. 391. Elektrisches Grubenlicht nach Dumas und Benoît.

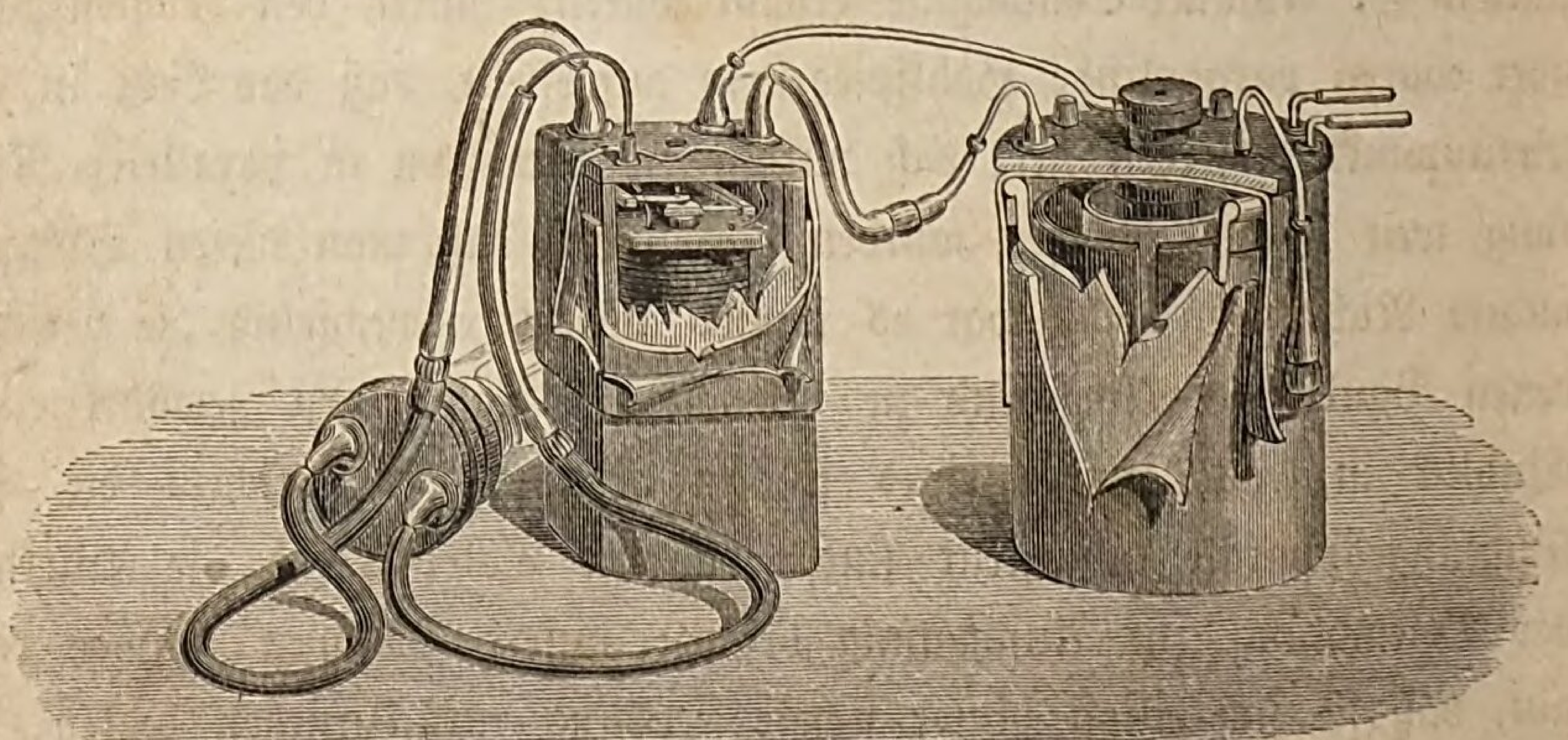
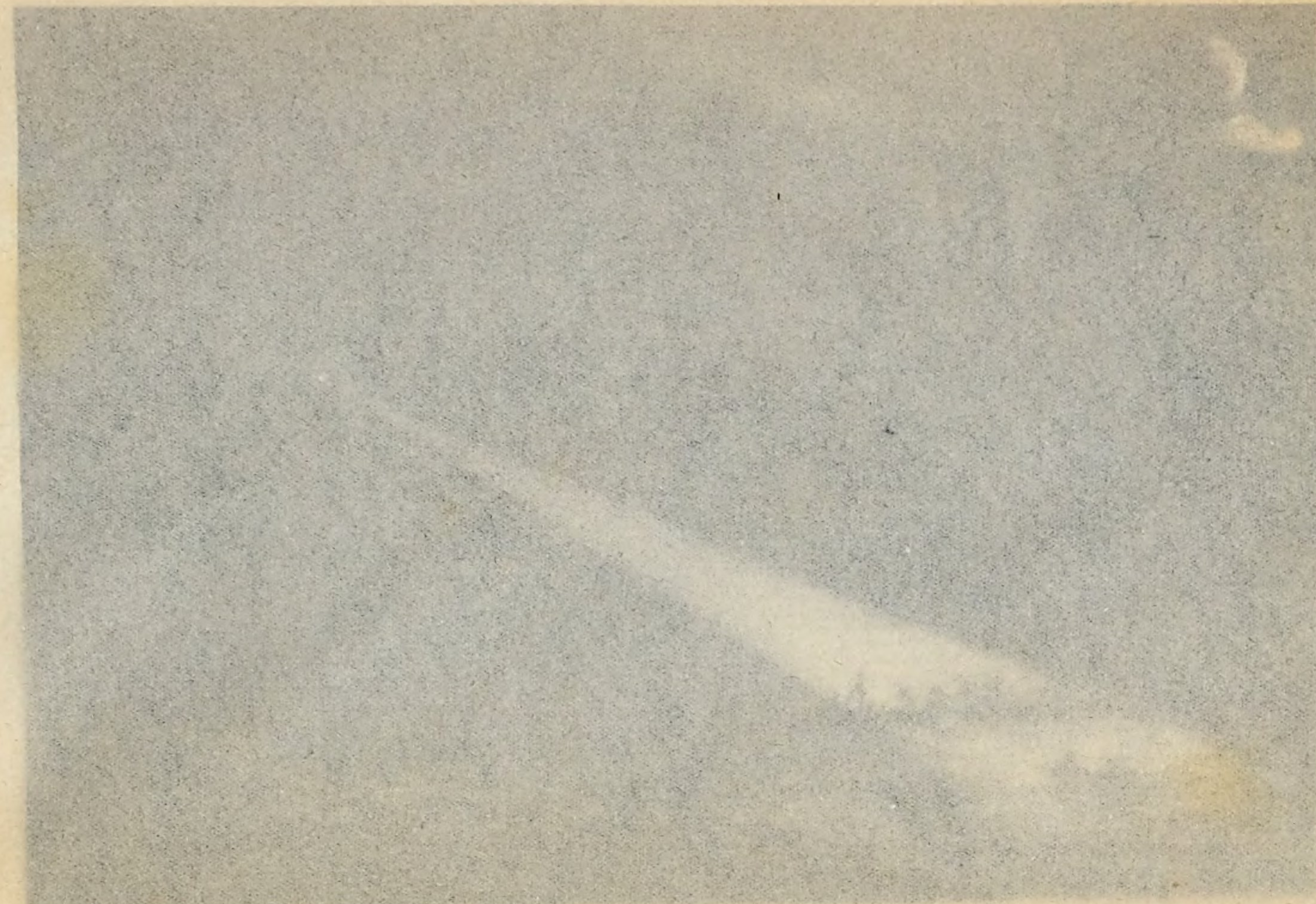


Fig. 392. Inductionsapparat für das elektrische Grubenlicht.

Geißler'sche Röhre (Fig. 391), welche mit einem sehr verdünnten Gase gefüllt ist und in deren beiden Enden Platindrähte eingeschmolzen sind, zu denen isolierte Leitungsdrähte durch Gummischläuche geführt sind. Diese Leitungsdrähte stehen mit den Polen eines kleinen Inductions-



DAS ELECTRISCHE LICHT WÄHREND DER BELAGERUNG [illegible]

[illegible] Anwendung des elektrischen Kohlenlichtes ab und begnügte sich [illegible] Funken, welche im luftverdünnten Raume überspringen. [illegible] Glasröhre befindet sich eine mehrfach gewundene

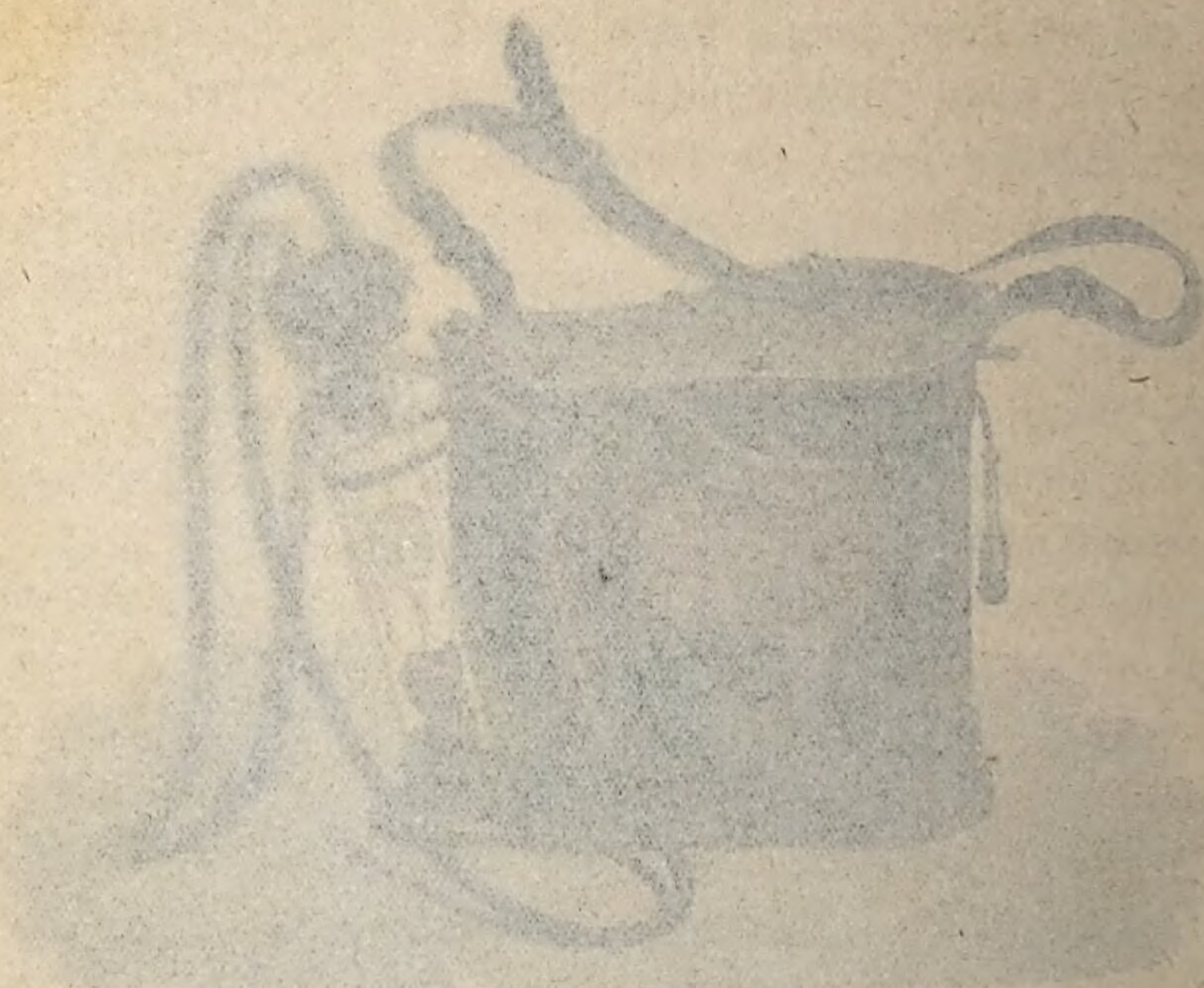


Fig. [illegible]. Elektrisches Grubenlicht nach Dumas und Benoit.

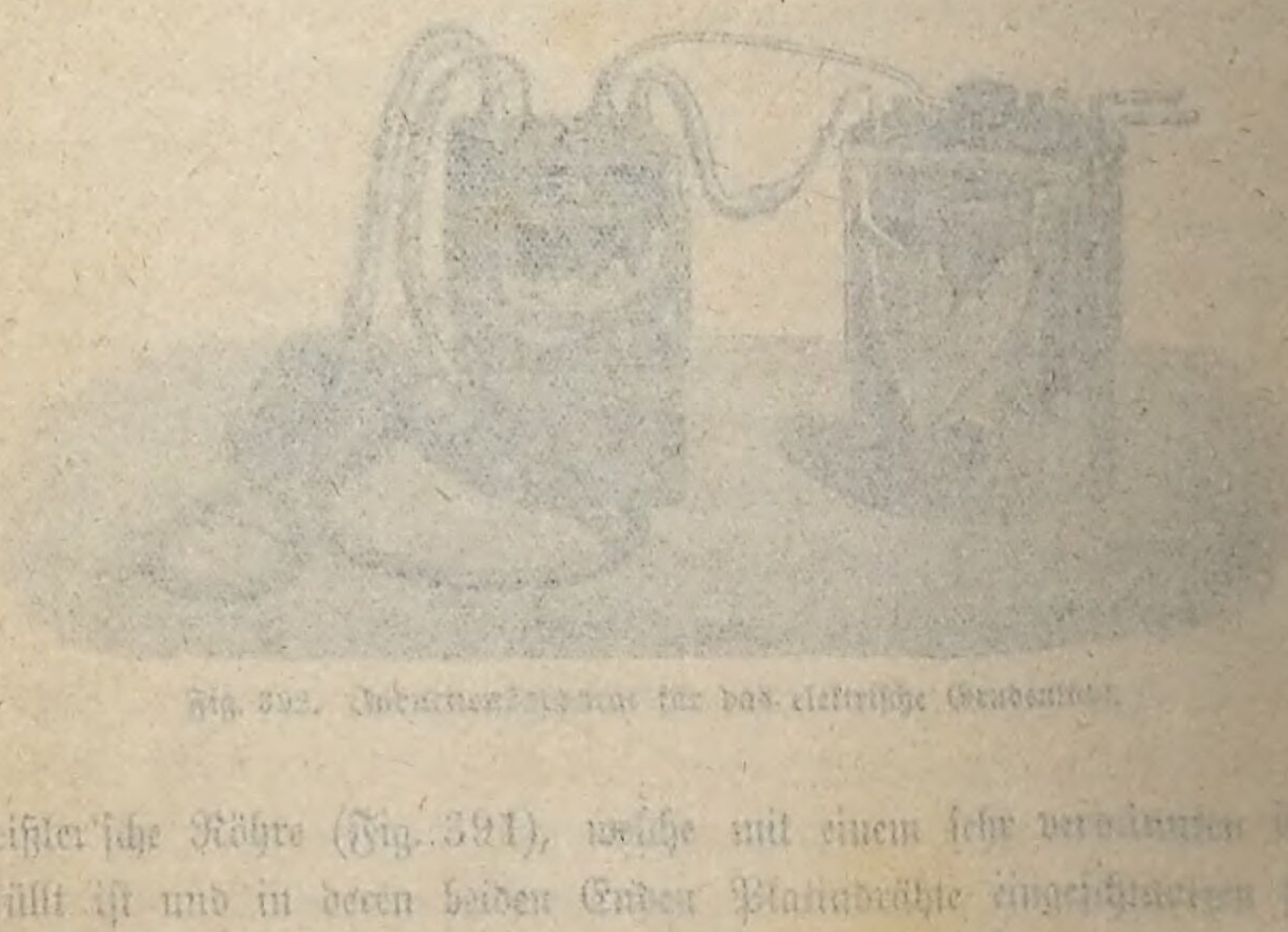


Fig. 392. Induktionsapparat für das elektrische Grubenlicht.

Geißler'sche Röhre (Fig. 391), welche mit einem sehr verdünnten Gas gefüllt ist und in deren beiden Enden Platindrähte eingeschmolzen sind, zu denen isolierte Leitungsdrähte durch Gummischläuche geführt sind. Diese Leitungsdrähte stehen mit den Polen eines kleinen Induktions-

XVII.



Verlag von Paul Frohberg, Leipzig.

Lith. Anst. H. Arnold, Leipzig.

DAS ELECTRISCHE LICHT WÄHREND DER BELAGERUNG VON PARIS (1871.)

STATION MONTMARTRE.

apparates in Verbindung, welcher in einer Tasche eingeschlossen ist, die der Bergmann mit sich trägt. Fig. 392 zeigt den Inhalt dieser Tasche, nämlich ein kleines galvanisches Element und einen Kasten, der den Ruhmkorff'schen Apparat enthält; dieser Kasten ist vollständig geschlossen, sodaß in sein Inneres die Luft nicht eindringen und zu der Stelle gelangen kann, wo die Funken überspringen. Da auch das Licht nur in der vollständig geschlossenen Geißler'schen Röhre entsteht, so ist diese Lampe als Sicherheitslampe in den Kohlenbergwerken sehr gut zu gebrauchen, denn selbst wenn die Röhre einmal zerbrechen sollte, so wäre doch keine Gefahr zu befürchten, da in diesem Falle das Ueberspringen der Funken sofort aufhören würde.

§ 3. Sprengung von Minen durch Elektricität.

Wir wenden uns jetzt zu einer weiteren Anwendung der Elektricität, durch welche nicht allein gewisse Arbeiten mit viel größerer Genauigkeit ausgeführt werden, sondern welche zugleich auch eine Gefahr vermindert, ja fast vollständig beseitigt, durch die schon manches Menschenleben vernichtet worden ist, nämlich zur Entzündung der Minen durch den elektrischen Strom. Wenn nach dem gewöhnlichen und früher allein angewendeten Verfahren das Gestein im Bergwerke oder der Fels beim Anlegen der Straßen gesprengt werden soll, so wird die Minenkammer, die mit dem Steinmeisel eingearbeitet war, mit dem Sprengstoff gefüllt und darauf wieder vollständig geschlossen bis auf eine enge Röhre, die in das Innere führt und mit Pulver gefüllt ist. An dieser Röhre befestigt man die Zündschnure, die auf dem Erdboden eine Strecke weit fortgeführt wird, und an letzterer einen Streifen Feuerschwamm, dessen Länge so bemessen wird, daß der Bergmann, der denselben an dem einen Ende entzündet, bequem Zeit hat sich zu flüchten, bevor das Feuer bis zum anderen Ende vorgedrungen ist und die Zündschnur ergriffen hat. Daß alle diese Manipulationen sehr gefährlich sind, daß namentlich der Moment sehr kritisch ist, in dem der Schwamm in der Nähe der vielen explosiven Stoffe entzündet wird, liegt auf der Hand, hängt ja doch schon von der Beschaffenheit des Schwammes, von der Geschwindigkeit, mit der er verbrennt, Alles ab, sodaß bei vorzeitiger Explosion der Bergmann unrettbar verloren ist. Fast noch häufiger aber sind die Unfälle,

die dadurch herbeigeführt werden, daß sich die Entzündung aus irgend einem Grunde verzögert: denn wenn in diesem Falle der Bergmann einige Zeit gewartet hat, ohne daß die Explosion erfolgt, und er nun herantritt in der Meinung, der Schwamm sei erloschen, so schwebt er in diesem Augenblicke in noch weit größerer Gefahr als bei der Entzündung.

Alle diese Gefahren verschwinden, sobald man die Entzündung durch

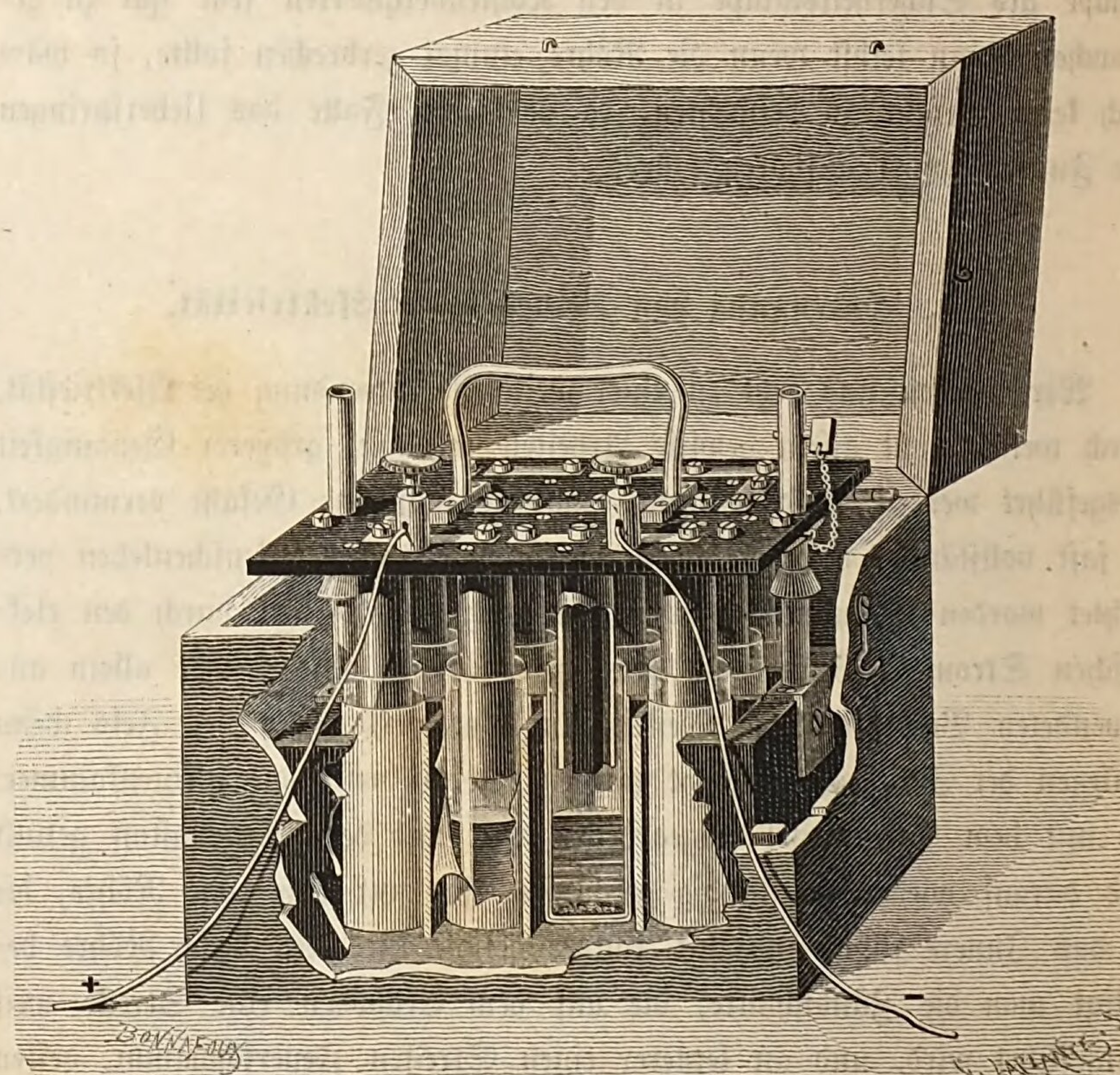


Fig. 393. Galvanische Batterie für die Entzündung der Minen.

einen elektrischen Strom bewirken läßt, den man aus einer beliebig großen Entfernung, bis zu welcher man sich zurückgezogen hat, entsenden kann, und man hat zu diesem Zwecke sowohl die Ströme von starken galvanischen Batterien, als auch die von Ruhmkorff'schen Inductionsapparaten ausgesendeten Ströme mit gutem Erfolge angewendet. Die ersten Versuche wurden nur mit galvanischen Batterien angestellt von deren Polen zwei isolierte Leitungsdrähte bis zu der Mine verlaufen: die Enden

dieser Drähte sind in die Minenkammern eingeführt und durch ein Stück feinen Platindraht mit einander verbunden. Sobald der Stromkreis geschlossen wird, geräth der Draht in Gluth und entzündet das Pulver, in dem er liegt. Auch jetzt verfährt man noch häufig in derselben Weise und benutzt dazu Batterien, die aus Zink und Kohle zusammengesetzt sind, während als Flüssigkeit eine Lösung von doppeltchromsaurem Kali und Schwefelsäure benutzt wird. Die Apparate (Fig. 393) sind so eingerichtet, daß man die Platten alle gleichzeitig aus der Flüssigkeit ausheben und wieder in dieselbe einsenken kann. Man läßt die Platten erst herab wenn die Ladung der Mine vollendet ist und die Arbeiter



Fig. 394. Sprengapparat von Stateham.

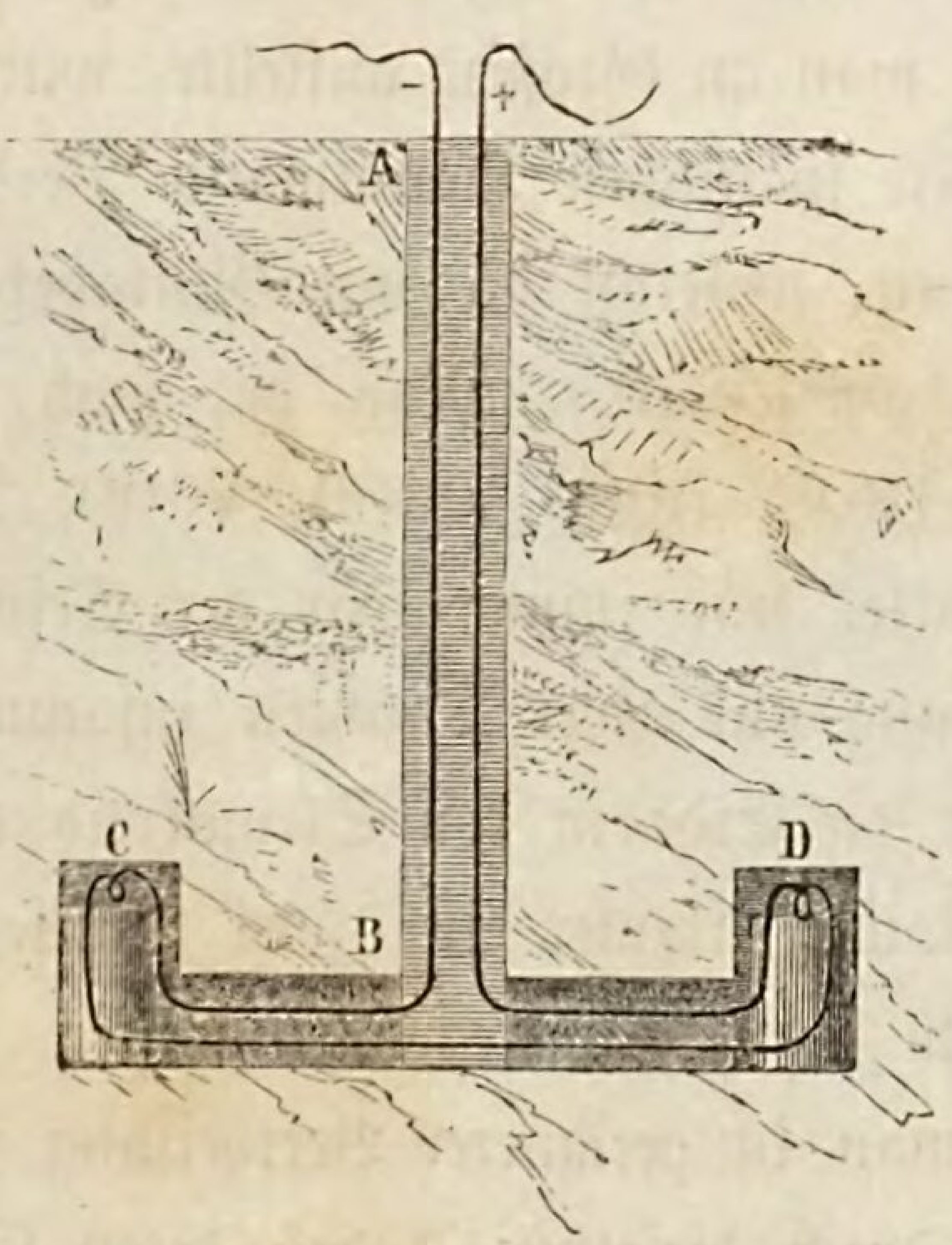


Fig. 395. Zwei in Verbindung gesetzte Minen.

sich weit genug zurückgezogen haben. Doch auch mit dem Herablassen der Platten ist der Stromkreis noch nicht geschlossen, indem in dem einen Leitungsdrahte eine Unterbrechungsvorrichtung eingeschaltet ist, die erst geschlossen wird, wenn der Leiter der Arbeiter das Zeichen giebt.

Mit fast noch besserem Erfolge hat man später die Entzündung der Minen durch einen Funken bewirken lassen, welcher durch einen Ruhmkorff'schen Inductionsapparat hervorgerufen wurde. Zwar wollten Anfangs die Versuche, welche Du Moncel in dieser Beziehung anstellte, nicht recht gelingen, weil der Inductionsfunke zwischen dem Pulver übersprang ohne dasselbe zu entzünden, und erst als der englische Ingenieur Stateham ein Sprengmittel einführte, welches noch leichter explodiert als

Pulver, konnte der Apparat zur Anwendung gebracht werden, und so sind z. B. mit seiner Hilfe die großen Sprengungen bei den riesigen Hafenbauten von Cherbourg ausgeführt worden. Statham's Sprengapparat (Fig. 394) besteht aus zwei Kupferdrähten, welche in ihrem ganzen Verlaufe in eine Hülle von Guttapercha eingeschlossen sind, die nur die Spitzen A und B freiläßt. Diese Spitzen nähern sich einander bis auf den Abstand von 1—2 ^{mm} innerhalb einer kleinen Kapsel aus Guttapercha, die der Hauptsache nach mit Pulver gefüllt ist, während sich zwischen den Spitzen selbst eine kleine Menge von Knallquecksilber befindet. „Die ersten Versuche über die Anwendung der Ruhmkorff'schen Inductionsapparate auf die Sprengung von Minen," sagt Du Moncel, „welche man im Großen anstellte, wurden im Jahre 1853 zu la Villette durch den spanischen Hauptmann Verdu in den Werkstätten des Herrn Herkmann, woselbst die mit Guttapercha überzogenen Drähte verfertigt werden, ausgeführt. Man hat nach und nach Drähte von 400, 600, 1000, 4800, 5000, 6400, 7600, 25000 und 26000 Meter Länge eingeschaltet und immer war der Erfolg ein vollständiger, mochte man die Leitung aus zwei Drähten zusammensetzen oder an Stelle des einen Drahtes die Erde in den Stromkreis einschalten. Bei allen diesen Versuchen kamen immer nur zwei Bunsen'sche Elemente zur Anwendung."

Will man größere Steinmassen mit einem Male absprengen, so bringt man in geeigneter Vertheilung mehrere Minen an und leitet den Strom durch dieselben, sodaß deren Explosion in demselben Augenblicke erfolgt (Fig. 395). Werden die Arbeiten in so großem Maßstabe ausgeführt, daß gleichzeitig mehrere Centner Pulver in den verschiedenen Minen explodieren sollen, so könnte leicht der Apparat seinen Dienst versagen, wenn ein und dieselbe Leitung nach einander alle Minen durchläuft, daher legt man in diesem Falle nach allen Minen besondere Leitungen, verbindet diese aber mit einem Stromwender, der so eingerichtet ist, daß beim Umlegen eines Hebels der Strom nach einander in alle Leitungen gesendet wird. Dadurch wird bewirkt, daß die Minen so schnell hintereinander explodieren, daß der Erfolg derselbe ist, als wenn die Sprengungen genau gleichzeitig einträten; sie unterstützen sich daher in ihren Wirkungen sehr beträchtlich und bringen einen weit größeren Effekt hervor, als wenn sie einzeln nach einander entzündet würden. So gelang es z. B. im Jahre 1854 bei der Anlegung eines Hafen-

bettes in Cherburg durch die gleichzeitige Explosion von nur sechs Minen einen Felsblock von 50000 Kubikmeter Inhalt mit einem Male loszusprengen. Durch Anwendung der Elektricität wird also nicht allein die Gefährlichkeit dieser Operationen bedeutend vermindert, sondern man kann die Wirkung auch wesentlich steigern, dadurch stellen sich aber auch die Kosten weit niedriger, wenn es gilt bedeutende Wirkungen hervorzubringen, und man nimmt an, daß durch dieses Verfahren gegen das ältere eine Ersparniß bis zu 60% erzielt wird.

Doch nicht allein die Ruhmkorff'schen Inductionsströme sind zu diesem Zwecke zur Anwendung gebracht worden, sondern man hat auch die Induction, die durch einen Magneten hervorgerufen wird, besonders den

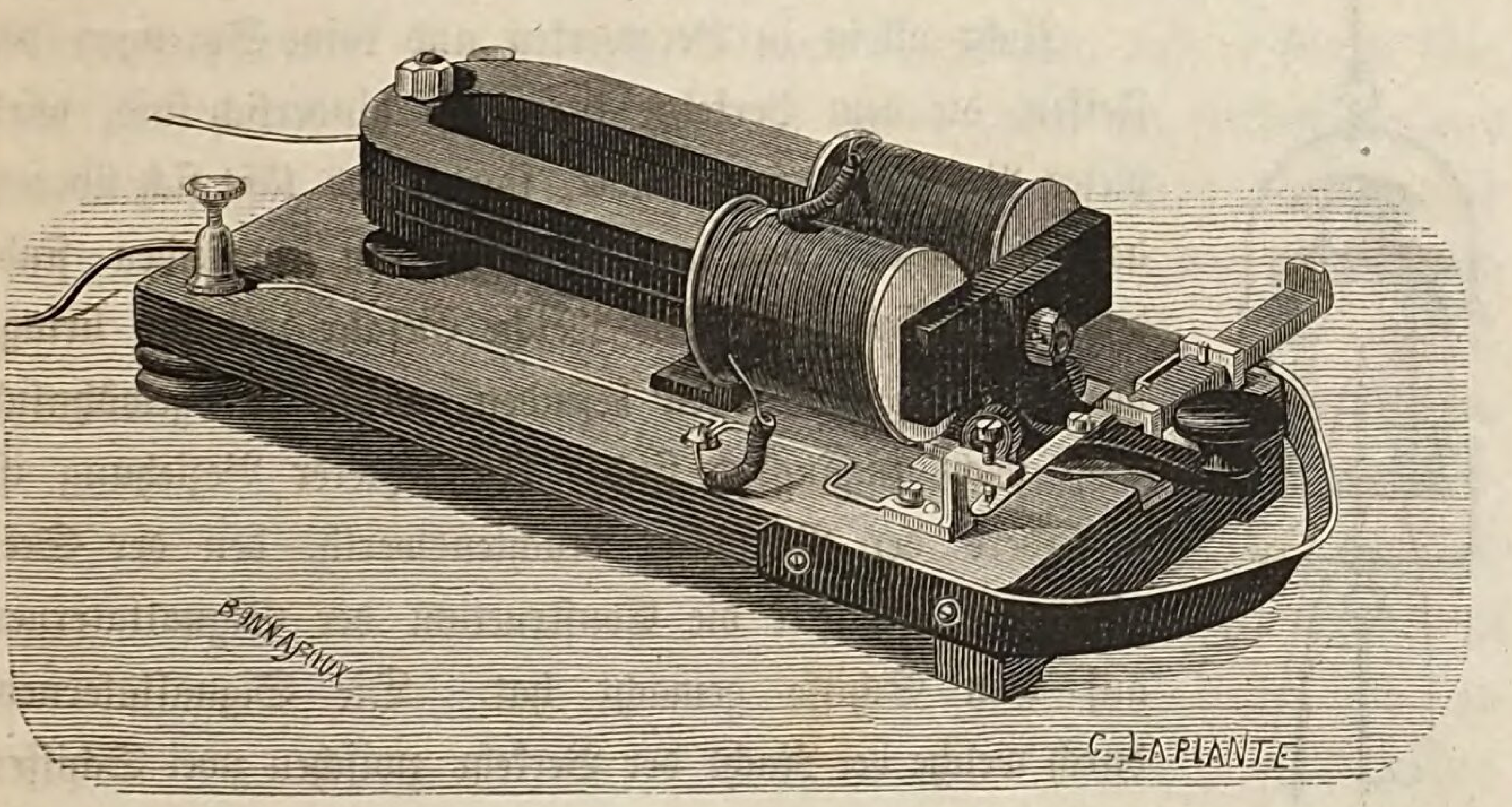


Fig. 396. Magnetoelektrischer Inductionsapparat zur Sprengung von Minen von Bréguet.

dabei auftretenden Extrastrom, in gleicher Weise benutzt: einen hierauf beruhenden, von Bréguet construierten Apparat zeigt Fig. 396. Vor den Polen eines kräftigen Stahlmagneten in Hufeisenform befindet sich ein Elektromagnet in solcher Lage, daß jeder Pol vor dem ungleichnamigen Pole des Stahlmagneten liegt; gegen die abgewendeten Pole des Elektromagneten aber wird ein Kern aus weichem Eisen durch eine Feder angedrückt, welche mittels eines Knopfes niedergedrückt werden kann, sodaß der Anker plötzlich abreißt. Bei diesem Abreißen wird der Magnetismus der Eisenkerne im Elektromagneten schwächer und dadurch werden in den Drahtspiralen Inductionsströme erregt, welche mit dem ursprünglichen Batteriestrome gleich gerichtet sind. Sobald der Anker in die größte Entfernung von den Polen, die der Apparat gestattet, gelangt ist,

so wird durch den Hebel der Stromkreis unterbrochen und es entsteht dadurch in der Leitung ein neuer sehr kräftiger Strom den man den Extrastrom nennt. Sowohl jener Inductionsstrom, als auch dieser Extrastrom, welcher selbst ebenfalls als eine Inductionserscheinung anzusehen ist, werden durch Leitungen bis in die Minenkammern geführt, wo sie als Funken zwischen den Enden der Leitungen überspringen und die explodierende Masse entzünden. Um jeden Unfall zu vermeiden, der eintreten könnte, wenn gleichzeitig mehrere Minen durch denselben Apparat entzündet werden sollten, befindet sich unter dem Hebel ein Riegel, der erst zurückgezogen wird wenn alle Vorbereitungen getroffen sind.

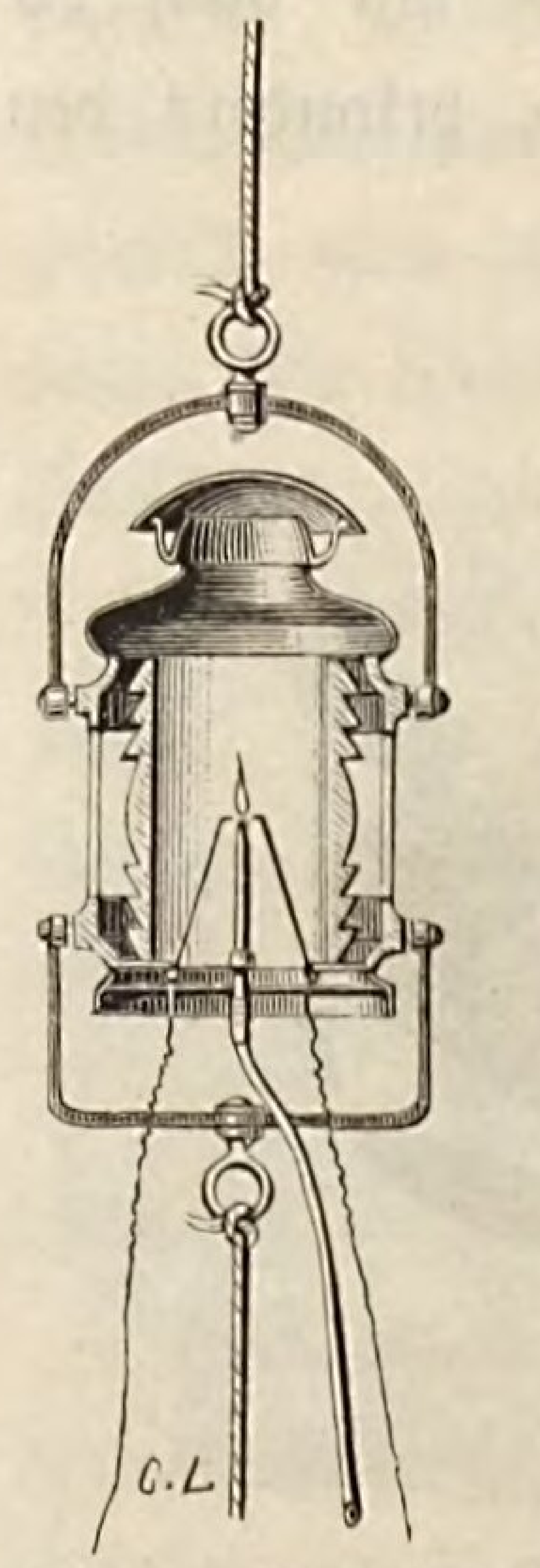


Fig. 397. Signallaterne von Trève.

Nicht allein in Bergwerken und beim Sprengen der Felsen, die dem Verkehre irgendwie hinderlich sind, wird dieses Verfahren angewendet, sondern es läßt sich überall da gebrauchen, wo gewisse Stoffe zu entzünden sind, deren Entzündung irgend welche Gefahr mit sich bringt oder die sich an Stellen befinden, welche für gewöhnlich nicht leicht zugänglich sind. In letzterer Beziehung ist besonders der Vorschlag beachtenswerth, den der Seeoffizier Trève für die Construction der Signallaternen auf dem Schiffe gemacht hat. Die Signallaternen, durch welche bei Nacht der Verkehr zwischen zwei Schiffen hergestellt wird und deren Licht deshalb auch durch Anwendung der Fresnel'schen Treppenlinse weit hinausgeworfen wird, sind an den höchsten Spitzen der Masten angebracht und es ist daher immer etwas umständlich, wenn diese Laterne, die mit gewöhnlichen Lampen ausgerüstet sind, entzündet werden sollen. Daher schlägt Trève vor, daß man an Stelle der gewöhnlichen Lampen Gasflammen anwendet (Fig. 397), zu welchen das Gas aus einem Gasometer, der im Hintertheile des Schiffes im obersten Deck aufgestellt ist, durch Röhren aus Blei oder Kautschuk geleitet wird. Sobald der Hahn einer solchen Röhre geöffnet wird, strömt das Gas nach der betreffenden Laterne, welche also niemals von ihrem Platze entfernt zu werden braucht, das Entzünden der Flamme aber wird durch elektrische Funken bewirkt, die oberhalb des Brenners zwischen den Enden zweier Drähte überspringen und durch einen Ruhmkorff'schen Apparat erzeugt

werden, welcher in demselben Augenblicke in Gang gesetzt wird, in dem man den Gashahn aufdreht.

So wie das elektrische Licht eine wichtige Anwendung in der Kriegskunst gefunden hat, so auch das Sprengen durch den elektrischen Strom, und nicht allein die Verschanzungen des Feindes sucht man auf solchem Wege zu zerstören, sondern ganz besonders wenn es gilt den feindlichen Schiffen den Eingang in den Hafen oder das Herannahen an die Küste zu wehren, bedient man sich ähnlicher Apparate. Man versenkt zu diesem Zwecke große Behälter, die mit Pulver gefüllt sind, in dem guten Fahrwasser bis zu einer gewissen Tiefe in das Meer: sobald die feindlichen Schiffe über dieselben hinweggehen, soll die Explosion erfolgen und das Fahrzeug zerstören oder wenigstens soweit beschädigen, daß es seinen Weg nicht fortsetzen kann. Diese Apparate, welche zuerst im Krimkriege und im amerikanischen Bürgerkriege eine größere Ausbreitung fanden und welche man mit dem Namen Torpedos bezeichnete, hatten ursprünglich folgende Einrichtung. Ein geräumiger Kasten aus Zinn, der an betreffender Stelle verankert wird, ist in zwei Abtheilungen getheilt, von denen die untere mit Pulver gefüllt ist, während die obere Luft enthält. Durch eine Oeffnung der Scheidewand geht ein Stahlstab, der bis fast auf den Boden der unteren Abtheilung reicht und auf seiner Spitze ein Zündhütchen trägt, in der oberen Abtheilung aber befindet sich ein Hammer, welcher durch einen Sperrkegel gehalten wird. Sobald ein Schiff nun an einen Schwimmer trifft, der mit diesem Sperrkegel in Verbindung steht, wird der Hammer ausgelöst und durch den Schlag desselben gegen den Stahlstab das Zündhütchen entzündet.

Diese Einrichtung der Torpedos hatte den großen Nachtheil, daß sowohl das Legen der Apparate, als auch das Auffischen derselben nach Beendigung des Krieges höchst gefährlich war und mehrfach sind besonders bei der ersteren Operation bereits die Explosionen erfolgt: daher kam man bald auf den Gedanken, die Entzündung lieber durch den elektrischen Strom bewirken zu lassen, den man in dem Augenblicke schließt, in welchem das feindliche Schiff über den Torpedo gelangt. In wie geschickter Weise dabei der ehemalige belgische Kriegsminister Chazal die Camera obscura mit der Sprengung durch den elektrischen Strom combinierte, als es galt das Fahrwasser der Schelde gegen etwaige Angriffe zu schützen, läßt sich aus Fig. 398 erkennen. Chazal ließ hinter einer

Schanze ein Zelt errichten, welches im Innern dunkel war, auf dessen Gipfel aber eine Camera obscura befestigt war, deren Gläser sich nach dem Hafen zu richteten. In der Mitte des Zeltes befand sich ein Tisch, auf den die von der Camera obscura aufgefangenen Lichtstrahlen mittels eines geneigten Spiegels herabgeworfen wurden, sodaß auf ihm ein Bild des Hafens sich darstellte. Dieses Bild ließ man zusammenfallen mit einer Darstellung des Hafens, welche mittels derselben Camera obscura

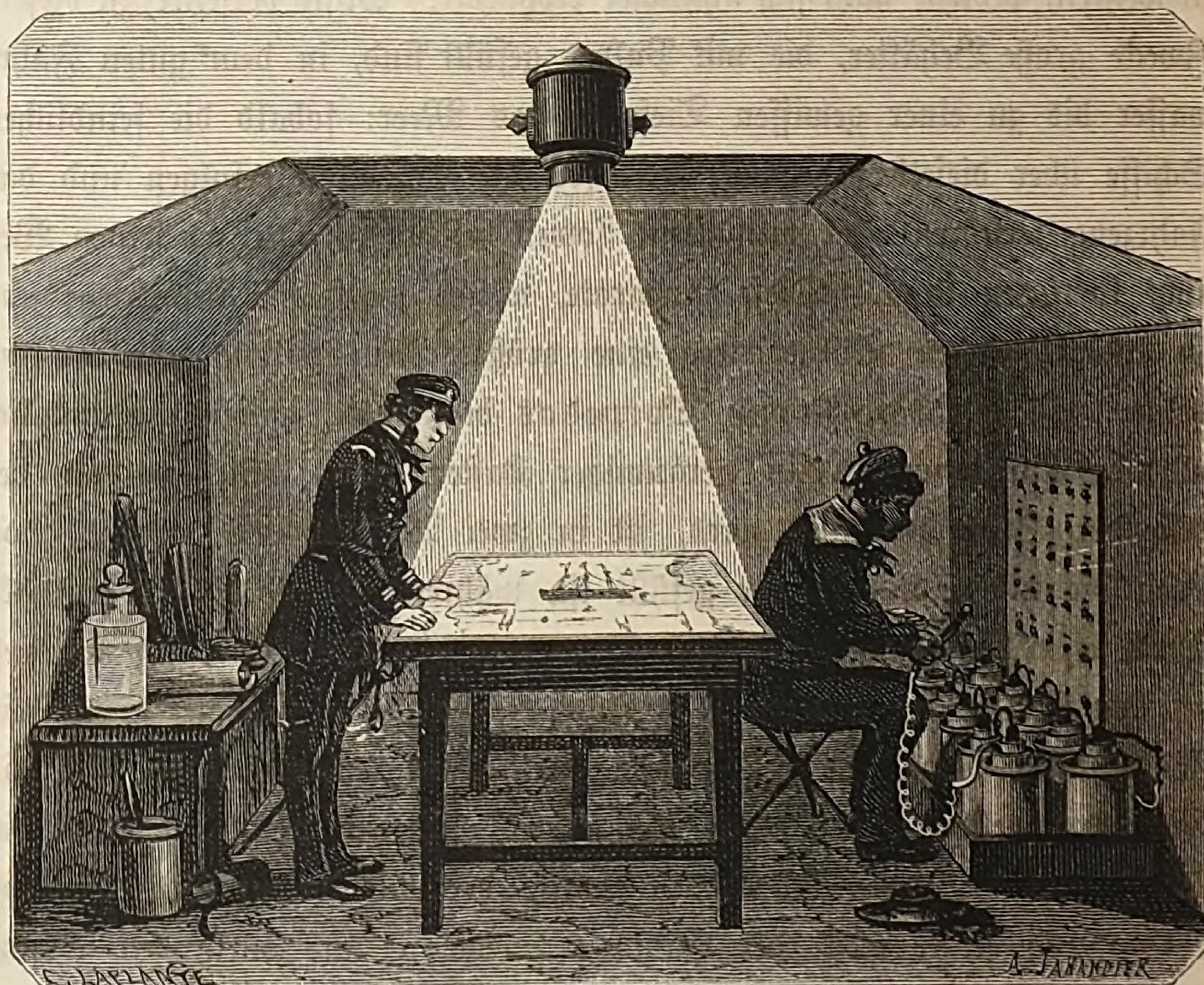


Fig. 398. Camera obscura mit galvanischem Sprengapparate, behufs der Hafenvertheidigung construiert von Chazal.

angefertigt war, in welche aber die Stellen eingezeichnet wurden, an welchen Torpedos versenkt waren. Zu jedem einzelnen dieser Torpedos führten isolierte Leitungen, deren Enden an einer Tafel im Innern des Zeltes befestigt waren, sodaß sie leicht mit einer eben dort aufgestellten galvanischen Batterie verbunden werden konnten. Sobald nun der die Aufsicht führende Offizier die Annäherung eines feindlichen Schiffes bemerkte, so mußte er das Bild auf dem Tische beständig im Auge behalten. Würde er nun bemerken, daß das Schiff gerade über einem Torpedo angelangt ist, so brauchte er nur dem anwesenden Matrosen

mitzutheilen, welche Drahtleitung er mit der Batterie in Verbindung bringen sollte und es würde die Explosion des betreffenden Torpedos sofort erfolgen. Zu ernstlicher Anwendung ist dieser Apparat nicht gekommen, die mit ihm angestellten Probeversuche aber haben vollständig genügende Resultate ergeben.

Achtes Kapitel.

Galvanische Niederschläge.

§ 1. Erfindung der Galvanoplastik.

Wir haben in den vorhergehenden Kapiteln eine Anzahl Apparate der verschiedensten Arten kennen gelernt, in denen der elektrische Strom mit wunderbarer Geschwindigkeit Nachrichten in die größte Entfernung hin verbreitet: wir sahen, wie die Zeichen, durch welche der Verkehr vermittelt wurde, bald nur in einfachen Ausschlägen der Magnetnadel bestanden, wie aber bei anderen Instrumenten die Depeschen durch den galvanischen Strom in einer besonderen Schrift auf Papier aufgezeichnet wurde, ja wie es sogar möglich ist sie in gewöhnlicher Druckschrift herzustellen und wie schließlich selbst die wirklichen Schriftzüge oder auch Zeichnungen in einem meilenweiten Abstande facsimiliert werden konnten. Bei der Telegraphie wirkt also die Elektricität oder besser gesagt der Elektromagnetismus, da in allen Fällen die Bewegungen aus der gegenseitigen Einwirkung von Strömen und Magneten hervorgehen, als eine mechanische Kraft: und dasselbe ist auch der Fall, wenn die elektromagnetischen Anziehungen und Abstoßungen dazu benutzt werden, um Uhrwerke miteinander zu verbinden und in Gang zu setzen, um kurze Zeiträume zu messen und den Verlauf mancher physikalischer und metereologischer Erscheinungen aufzuzeichnen, worauf wir im letzten Kapitel zurückkommen werden, um elektromotorische Kraftmaschinen zu treiben und bei vielen anderen Anwendungen, die man jetzt in der Wissenschaft wie in der Industrie von dieser erst spät erkannten Naturkraft macht.

Doch die Elektricität bringt nicht nur Bewegung hervor, sie erhitzt auch die Körper, durch welche sie hindurchgeleitet wird, und zwar in so hohem Grade, daß sie selbst die am schwersten schmelzbaren Metalle

nicht allein schmilzt, sondern sogar verflüchtigt; als Anwendung dieser Erhitzung haben wir das Sprengen der Minen und die Entzündung der Torpedos erwähnt. Das blendende Licht aber, welches sich zwischen zwei Kohlenspitzen entwickelt, wenn der galvanische Strom durch sie hindurchfließt, reicht an Intensität an das Licht der Strahlen heran, welche die Sonne uns sendet. Vermöge eines Mechanismus, dessen Bewegung durch die Schwankungen in der Stromstärke und durch die Verbrennung selbst geregelt wird, ist es gelungen das Licht des Volta'schen Bogen sehr gleichmäßig zu machen und dadurch wurde es in vielen Fällen erst zur Anwendung geeignet: besonders durchdringt es jetzt die Nebel in den dunkelsten Nächten und erhöht dadurch noch wesentlich den Nutzen, den die Leuchtthürme besonders seit Einführung der schönen Erfindung von Fresnel der Schifffahrt gewähren.

Wollen wir den Ueberblick über die Anwendungen des elektrischen Stromes nunmehr zu einem Abschlusse bringen, so bleibt uns noch übrig eine Gruppe von Erscheinungen zu betrachten, die auf der sogenannten chemischen Thätigkeit desselben beruhen, also auf denjenigen bisher noch ziemlich unklaren Beziehungen der Stoffe zu einander, die man in neuerer Zeit sogar häufig als die den elektrischen Strom erregenden Ursachen angesehen hat. Auf welche Principien dieses Gebiet, welches man allgemein mit dem Namen der Galvanoplastik oder der Elektrochemie bezeichnet, sich gründet, wollen wir jetzt vorausschicken, bevor wir zu den Anwendungen übergehen, die es sowohl auf dem Gebiete der Wissenschaft, als auch auf dem der Kunst und des Gewerbes reichlich findet.

Als im Jahre 1800 der englische Physiker Carlisle den Strom einer Volta'schen Säule durch Wasser hindurch leitete, so bemerkte er, daß sowohl an der Stelle des Eintritts, als auch an der des Austritts reichlich Luftblasen aufstiegen, und er erkannte, daß die an der ersten Stelle, welche man als den positiven Pol bezeichnet, gebildeten Blasen aus Sauerstoff, die an der anderen Stelle, dem negativen Pole, sich zeigenden aber aus Wasserstoff bestanden: der Strom hatte das Wasser in seine beiden elementaren Bestandtheile zerlegt. Als man später dasselbe Verfahren auf Salzlösungen anwendete, so zeigte sich eine ähnliche Zersetzung und bei den Alkalisalzen scheidet sich am positiven Pole die Säure und der Sauerstoff des Wassers, am negativen die Basis

und der Wasserstoff aus. Nimmt man dagegen ein Metallsalz, z. B. Kupfervitriol, so reduciert der Wasserstoff, der sich am negativen Pole ausscheidet das ebenda sich bildende Metalloxyd und das Metall, in unserem Falle also Kupfer, schlägt sich nieder. Diese Zersetzungserscheinungen ließen sich also schon mit der ursprünglichen Volta'schen Säule hervorrufen, nur zeigte sich wegen der Unregelmäßigkeit des Stromes und wegen der schnellen Abnahme seiner Stärke das niedergeschlagene Metall nur in Form von Pulver, sodaß die Erscheinung irgend welche Anwendung in der Praxis zunächst nicht finden konnte. Einen um so größeren Gewinn zog dagegen die Wissenschaft aus diesen Vorgängen, denn bereits im Jahre 1807 stellte Davy auf diesem Wege zwei bis dahin unbekannte Metalle her, nämlich das Kalium und das Natrium. Ein wesentlicher Fortschritt konnte auf diesem Gebiete erst geschehen, als man gelernt hatte Batterien zusammenzusetzen, welche einen beständig in gleicher Stärke fließenden Strom liefern, wie z. B. die Daniell'sche. Einen wirklich zusammenhängenden Niederschlag hat aber erst Jacobi im Jahre 1839 dargestellt, als er sich mit der Construction des elektrischen Motors beschäftigte, durch welchen er das Boot auf der Newa bewegen ließ.

Jacobi hatte gelegentlich seiner Versuche einmal Elemente zusammengestellt, bei denen er Kupfer als das positive, Platin als das negative Metall benutzte. Als der Strom im Gange war, bemerkte er, daß sich die Platinplatten mit einem ziemlich höckerigen Niederschlage bedeckten, welcher aus kleinen Blättchen von etwas brüchigem Kupfer bestand: dieser Niederschlag ließ sich aber leicht ablösen und zeigte an seiner Innenseite eine glatte Fläche, welche genau die Form der Platinfläche wieder gab. Einmal auf die Erscheinung aufmerksam gemacht wiederholte der genannte Physiker die Versuche unter Anwendung von nicht starken constanten Batterien und erhielt aus Kupfervitriol gleichmäßige Niederschläge von Kupfer, deren Festigkeit, Dichtigkeit und Geschmeidigkeit eben so groß war, wie die von ganz reinem Metalle, welches durch metallurgische Operationen hergestellt ist. Weiter versuchte er die Metallplatten, auf denen der Niederschlag entsteht, durch Gießformen von Medaillen und von gravierten Platten zu ersetzen und erhielt genaue Nachbildung derselben, bei denen die Erhabenheiten als Vertiefungen erschienen und umgekehrt. Nur ein Jahr später wurden ähnliche Versuche mit Erfolg

auch von dem englischen Chemiker Spencer angestellt, ohne daß derselbe Jacobi's Arbeiten gekannt hätte: bald aber wurde die Entdeckung allgemeiner bekannt und durch manche Abänderungen verbessert, sodaß sie binnen Kurzem als ein sehr nützliches Hilfsmittel für Kunst und Gewerbe angesehen werden durfte.

Das Verfahren, welches man als Galvanoplastik im engeren Sinne des Wortes bezeichnet, besteht darin, daß man Niederschläge sich bilden läßt, welche sich der Form der Gegenstände, die man nachbilden will, genau anschmiegen ohne an denselben fest anzuhängen. Es ist aber auch möglich sehr dünne Niederschläge herzustellen, welche fest an der Oberfläche der Gegenstände anhaften und auf ihr eine schützende Fläche bilden, ohne daß sich dabei die Gestalt und die Umrisse der Körper wesentlich ändern: das Verfahren, welches zu diesem Ziele führt, bezeichnet man als die galvanische Vergoldung, Versilberung, Verzinkung u. s. w., je nach dem Metalle, welches sich in Form einer dünnen Schicht niederschlägt, oder man nennt es auch kurzweg die Galvanisation. Das Princip ist für beide Vorgänge dasselbe, die Ausführung im Einzelnen muß aber auf verschiedene Weise erfolgen; auch sind beide Operationen unabhängig von einander aufgefunden worden, ja die Erfindung der Galvanisation, speciell der galvanischen Vergoldung, reicht in noch frühere Zeiten zurück.

Bereits im Jahre 1805 fand Brugnatelli, Professor der Chemie an der Universität Pavia, ein Verfahren um Münzen und kleine Gegenstände aus Silber mit Hilfe der Volta'schen Säule zu vergolden: er tauchte nämlich die betreffenden Gegenstände in eine Lösung von Chlorgold und Ammoniak und setzte sie durch einen Draht aus Stahl oder Silber mit dem negativen Pole einer Säule in Verbindung, während er den positiven Pol zur Flüssigkeit selbst überleitete. Allein diese Versuche wurden nur sehr wenig bekannt und bald ganz vergessen: und erst im Jahre 1836 gelang es dem berühmten Physiker de la Rive in Genf ein ähnliches Verfahren für die Vergoldung von Messing, Kupfer und Silber aufzufinden, nachdem er sich lange Zeit mit Untersuchungen beschäftigt hatte, die den Zweck verfolgten die Arbeiter in den Vergolderwerkstätten vor den schädlichen Einflüssen der Quecksilberdämpfe zu schützen. Er wendete eine ziemlich verdünnte und möglichst neutrale Lösung von Chlorgold (5 — 10 Milligramme Gold auf den Kubikcentimeter der

Lösung) an, welche er in einen cylindrischen Beutel aus Blase füllte, welcher in einem Glasgefäße hängt, das mit schwach angesäuertem Wasser gefüllt ist. In die Goldlösung selbst wird der zu vergoldende Gegenstand gehängt und von ihm aus über den Rand der Blase ein Draht hinweg geführt, welcher ihn mit einem Stücke Zink in Verbindung setzt, das in das angesäuerte Wasser eintaucht. Auf diese Weise bilden die beiden Metalle mit den Flüssigkeiten selbst ein sehr schwaches galvanisches Element und es bewegt sich ein elektrischer Strom beständig vom Zinke durch die Flüssigkeiten zum eingehängten Gegenstande, um von dort aus durch den Leitungsdraht zum Zinke zurückzukehren: da nun der Gegenstand den negativen Pol dieses Elementes bildet, so schlägt sich auf ihm das metallische Gold aus der Lösung nieder. De la Rive's Erfindungen erfuhren bald mancherlei Verbesserungen, z. B. durch die Physiker Elsner, Böttger, Perrot und Smee; doch bald fanden fast gleichzeitig der Engländer Elkington und der Franzose Ruolz eine neue Methode, durch welche diese Anwendung der Elektrochemie sich erst vollständigen Eingang verschaffte und besonders durch die Bemühungen des berühmten Goldarbeiters Christofle, welcher von den beiden zuletzt genannten die Patente erwarb, nimmt die Galvanoplastik von dieser Zeit an einen ehrenvollen Rang im Kunstgewerbe ein. Wenden wir uns jetzt zu dem Verfahren selbst, indem wir zuerst die Galvanoplastik im engeren Sinne, und hierauf die Galvanisation besprechen.

§ 2. Die Galvanoplastik.

Die Aufgabe der Galvanoplastik ist Niederschläge von einer gewissen Dicke auf irgend welchen Gegenständen, wie Medaillen, Statuen, Basreliefs, architectonischen Ornamenten, Vasen u. s. w., herzustellen, welche genau die Form der Originale wiedergeben und sich leicht von den Gegenständen loslösen lassen. Je nachdem man nun eine richtige Nachbildung der betreffenden Objecte zu erhalten wünscht, bei welcher die Erhabenheiten wirklich erhaben und die Vertiefungen vertieft erscheinen, oder auch eine Umkehrung der Darstellung, so zu sagen einen Gegenabdruck, hat man das Verfahren entsprechend zu modificieren. Handelt es sich um eine wirkliche Nachbildung des Gegenstandes, so fertigt man zunächst einen Abdruck oder eine Gießform desselben, und zwar führt

man dies gewöhnlich nach den auch sonst gebräuchlichen Methoden aus; doch hindert auch nichts, daß man nicht auch diese Form auf galvanischem Wege herstelle. Ist die Form in letzterer Weise angefertigt, so besteht sie aus Metall und ist mithin bereits ein guter Leiter der Elektricität: hat man dagegen, wie es meist geschieht, einen Abdruck in irgend einem anderen Stoffe hergestellt, wie in Wachs, Schwefel, Gyps, oder besser noch in Gelatine oder Guttapercha, so muß man die Oberfläche dieser Form erst durch einen feinen Ueberzug aus einem gut leitenden Stoffe in einen Leiter verwandeln. Man verfährt dabei meist auch jetzt noch nach der von Jacobi herrührenden Methode, welche darin besteht, daß man mittels eines Pinsels oder einer feinen Bürste eine dünne und sehr gleichmäßige Schicht von gepulvertem Graphit über die ganze Fläche vertheilt: oder man benetzt sie mit einer Lösung von salpetersauerem Silberoxyd in Alkohol und setzt sie dann einem Strome von Schwefelwasserstoffgas aus; dabei überzieht sich die Form mit einer dünnen Schicht von Schwefelsilber, welches die Elektricität sehr gut leitet. Dieses letztere Mittel wird besonders angewendet, wenn sehr feine Gegenstände nachgebildet werden sollen.

Ist die Form auf solche Weise hergestellt und für die Aufnahme des galvanischen Niederschlages vorbereitet, so setzt man nun den sogenannten galvanoplastischen Apparat zusammen. Ein einfacher galvanoplastischer Apparat besteht nur aus einem weiten Glase, auf dessen Boden der Gegenstand gelegt wird, der mit dem Niederschlage zu überziehen ist. An diesem Gegenstande ist ein Draht befestigt, welcher ihn an einer Stelle metallisch berührt, im Uebrigen aber mit Guttapercha oder Schellack überzogen ist, damit nicht auch zu ihm die Elektricität überströmt und auf ihm Niederschläge bildet. Man füllt nun das Gefäß mit der Flüssigkeit, aus welcher sich das Metall abscheiden soll, also z. B. mit einer Lösung von Kupfervitriol, wenn man eine Nachbildung in Kupfer haben will, und hängt von Oben her in die Lösung ein poröses Thongefäß oder einen Glascylinder, der unten durch eine Blase abgeschlossen ist. Dieses eingehängte Gefäß ist mit schwach gesäuertem Wasser gefüllt und in dieses taucht ein Zinkcylinder, der mit dem vorher erwähnten Drahte in Verbindung gesetzt ist. Auf diese Weise bildet der ganze Apparat ein einfaches galvanisches Element, in dem das Zink der positive Pol, der Gegenstand, auf dem der Niederschlag entstehen

soll, der negative Pol ist: es strömt also beständig Elektricität vom Zinke durch die Flüssigkeiten zu dem eingetauchten Gegenstande und ruft auf letzterem einen Niederschlag hervor. In dem Maße aber, in welchem der Niederschlag erfolgt, wird auch die Lösung ärmer an Metall und infolge dessen würde auch der weitere Niederschlag an Dichtigkeit verlieren, wenn man nicht dafür sorgte, daß der Ausfall immer wieder gedeckt wird: daher hängt man in die Lösung einen Beutel, der für die Flüssigkeit durchlässig ist, und füllt denselben mit festen Stücken Kupfervitriol, welche sich nach und nach auflösen, so wie die Flüssigkeit ihren Kupfergehalt verliert.

Während der einfache galvanoplastische Apparat an und für sich schon ein galvanisches Element bildet, so unterscheidet sich von ihm der

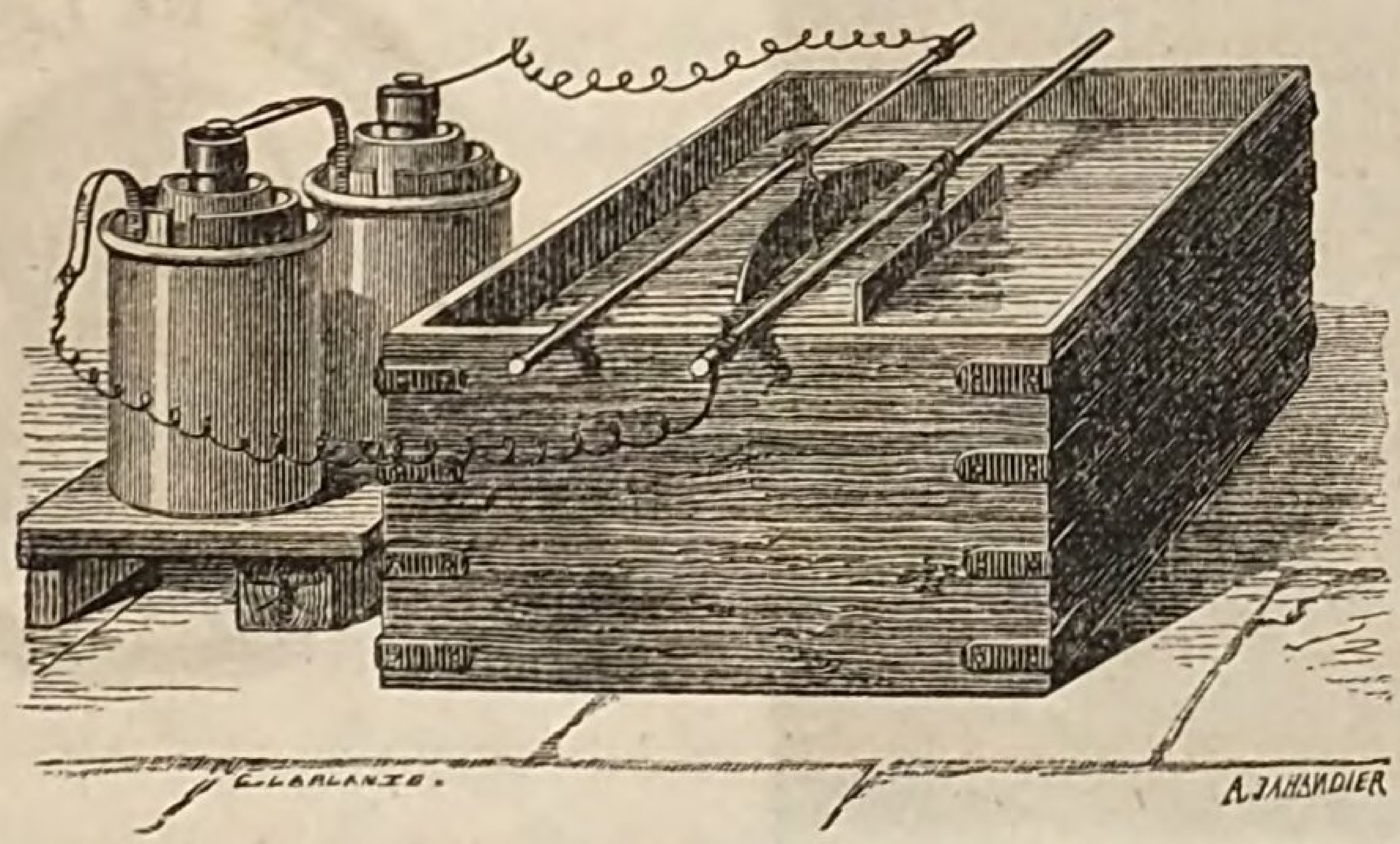


Fig. 399. Zusammengesetzter galvanoplastischer Apparat.

zusammengesetzte galvanoplastische Apparat (Fig. 399) nur dadurch, daß eine besondere Säule angewendet wird, welche den Strom erregt. Man verbindet den negativen Pol dieser Säule mit dem Gegenstande oder der Form, den positiven dagegen mit einer Kupferplatte, und taucht beide in ein Bad von Kupfervitriol. Durch den Strom scheidet sich aus dieser Lösung am negativen Pole metallisches Kupfer aus, die Schwefelsäure aber, welche sich am positiven Pole ausscheidet, greift sofort die dort befindliche Kupferplatte an und bildet genau so viel Kupfervitriol, als durch den Strom zersetzt worden war: der metallische Niederschlag bildet sich also auf Kosten der Platte, welche allmählich aufgezehrt wird. Jacobi, dem man auch dieses Verfahren dankt, bezeichnet diese Platte als eine lösliche Elektrode.

Das eben beschriebene Verfahren findet Anwendung bei der Nach-

bildung von Medaillen, Siegeln und andern Gegenständen von geringerer Ausdehnung, bei welchen nur die eine Seite graviert ist: so zeigt Fig. 400 sowohl die Gießform, bei welcher wir zugleich auch sehen, wie der doppelte Leitungsdraht angebracht ist, als auch die nachgebildete Medaille selbst. Eine ungemein wichtige Anwendung aber hat die Galvanoplastik gefunden bei der Nachbildung der Platten, welche auf Holz, Stahl oder Kupfer graviert sind: werden von diesen Platten selbst eine größere Anzahl Abzüge durch den Druck gemacht, so nutzen sie sich nach einiger Zeit



Fig. 400. Gießform und galvanoplastische Nachbildung einer Medaille.

ab und werden unbrauchbar; fertigt man dagegen von ihnen Nachbildungen auf galvanischem Wege, so läßt sich die Zahl der Abdrücke beliebig steigern. Ein geschnittener Holzstock gestattet im günstigsten Falle höchstens den Abzug von 10,000 Exemplaren und man wendet daher um die Zahl der Abdrücke zu erhöhen in neuerer Zeit gern Nachbildungen von ihm, sogenannte Clichés oder Galvanos, an, die man durch das folgende Verfahren herstellt. Auf den Holzstock wird mittels einer Bürste oder Pinsels eine feine Schicht Graphit aufgetragen und darauf von ihm ein Abdruck in Gelatine oder Guttapercha genommen, an welchem zugleich der Graphit hängen bleibt. Diesen Abdruck bringt man in den galvanoplastischen Apparat, in welchem er sich mit einer Schicht von Kupfer überzieht, die alle Formen des Holzstockes bis auf

die feinsten Striche mit vollkommener Treue wiedergiebt. Nach Verlauf von ungefähr vierundzwanzig Stunden beträgt die Stärke des Niederschlages etwa den zwanzigsten Theil eines Millimeters: man unterbricht nun das Verfahren und gießt auf die Rückseite des Blattes, das an und für sich nicht stark genug sein würde um den Abdruck auszuhalten, eine Mischung aus Blei, Antimon und Wismuth, sogenanntes Schriftmetall. Nachdem dieser Ueberzug von Schriftmetall geglättet ist und die Gießränder entfernt sind, befestigt man die Platte auf einer Unterlage von Holz und kann sie nunmehr dem Druckverfahren unterwerfen. Der Vortheil dieses Verfahrens besteht nicht allein darin, daß ein solches Cliché bis zu 24,000 Abdrücke gestattet, sondern hauptsächlich darin, daß man von einem und demselben Holzstocke beliebig viele Clichés abnehmen kann, ohne daß der Holzstock dabei irgend wie leidet: die Zahl der Abdrücke kann mithin ohne alle Grenzen gesteigert werden.

Ein ganz ähnliches Verfahren wird auch angewendet, wenn es gilt Kupfer- oder Stahlplatten nachzubilden, nur wird dabei auch der erste, also umgekehrte Abdruck oder die sogenannte Matrize ebenfalls auf galvanischem Wege hergestellt, sodaß dieselbe Operation zweimal nacheinander auszuführen ist: um hierbei das Anhaften des galvanischen Niederschlages an der Platte zu hindern ist es nothwendig dieselbe zuvor den Dämpfen auszusetzen, die von erwärmtem Jode aufsteigen, ehe man sie in den Zersetzungsapparat bringt. Auf solche Weise verfährt man z. B. bei der Herstellung von Briefmarken: man vereinigt zu einer Tafel 2 oder 300 Matrizen, die von ein und derselben Form für eine Marke, wie sie ursprünglich durch Gravierung hergestellt ist, genommen sind, und verfertigt davon Clichés, durch welche immer gleichzeitig dieselbe Zahl von Marken auf einen Bogen gedruckt werden. Wie nothwendig es ist das Verfahren so einzurichten, daß man in kurzer Zeit sehr große Mengen von Marken liefern kann, begreift man leicht, wenn man bedenkt, wie viele Millionen dieser kleinen Blättchen alltäglich verbraucht werden: sind doch allein im Jahre 1878 646,750,000 Marken in Deutschland von den Druckereien angefertigt worden, die Postkarten, Briefumschläge u. dergl. gar nicht gerechnet. Um die Nachbildung der Briefmarken, welche durch ein Uebertragen auf lithographischen Stein ohne Schwierigkeit ausgeführt werden könnte, unmöglich zu machen, ist das Papier, auf welches die Briefmarken gedruckt werden mit einer farb-

losen Sicherheitstinte getränkt, welche zugleich mit der Zeichnung auf den Stein übertragen werden würde, sodaß beim Abdruck statt der Zeichnung nur ein gleichmäßiger farbiger Fleck entsteht. Auch die Clichés für den Drucke der englischen Bankbillets sind durch Smee auf galvanischem Wege hergestellt worden. Mit welcher Zähigkeit diese Clichés der Abnutzung widerstehen, erkennt man aus der Versicherung des genannten Physikers, daß eine einzige Platte die Herstellung von 1 Million Bankbillets gestattet, ohne daß eine merkliche Abnutzung an ihr zu erkennen ist.

So wie die Galvanoplastik bei der Herstellung der verschiedenartigsten Drucke die besten Dienste leistet, so läßt sie sich eben so gut auch verwenden, wenn es darauf ankommt in gestochenen Platten Abänderungen nachzutragen. Hat man z. B. Platten für den Kartendruck, besonders für solche Karten, auf deren Genauigkeit viel ankommt, wie die Karten, die zu militärischen Zwecken entworfen werden, so ist es nothwendig, daß alle Aenderungen in der dargestellten Gegend, wie die Anlagen neuer Straßen, Eisenbahnen, Kanäle, das Verschwinden von Gebäuden, Wäldern u. dergl. m. auch immer in den Platten nachgetragen werden. Bisher ließ sich dies nur dadurch ausführen, daß man an den betreffenden Stellen Ausschnitte machte, in dieselben mittels des Hammers Kupferkeile eintrieb und die Oberfläche neu gravierte, ein Verfahren bei welchem die Platte selbst leicht beschädigt werden konnte. Nach dem Vorschlage, den Georges machte, werden dagegen jetzt die Correcturen so ausgeführt, daß man den Theil, an welchem eine Abänderung vorgenommen werden soll, mittels des Kratzeisens entfernt und dann an dieser Stelle einen galvanischen Niederschlag sich bilden läßt: nachdem letzterer genügende Dicke erlangt hat und sorgfältig geglättet worden ist, nimmt man von der Platte einen Abzug, in welchem die betreffende Stelle weiß erscheint; in diesen Abzug trägt nun der Zeichner die Aenderungen ein und darnach berichtigt der Stecher die Platte. Auch bei mehrfarbigem Drucke kann durch Mithilfe der Galvanoplastik ein viel genaueres Zusammenpassen der Platten, welche die verschiedenen Farben geben, erzielt werden.

Doch auch bei der Anfertigung der Kupferstiche selbst läßt sich aus dieser Erfindung ein wesentlicher Nutzen ziehen, ja es läßt sich durch dieselbe sogar die Verwendung des Scheidewassers vollständig vermeiden. Ueberzieht man nämlich eine Kupferplatte mit einem Firnisse, welcher die Elektricität nicht leitet, und gräbt man in diesen Firniß die Zeich-

nungen mit dem Grabstichel ein, sodaß an den betreffenden Stellen das Metall frei liegt, so kann man nun die Platte in den galvanoplastischen Apparat bringen, nur mit der Abänderung, daß man sie mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung setzt: sobald der Strom circuliert, so bildet die Platte gleichsam eine lösliche Elektrode, an welcher aber nur diejenigen Stellen sich auflösen, welche vom Firnisse entblößt sind. Auf diese Weise kann die Zeichnung eingraviert werden, ohne daß man von den lästigen Dämpfen der Salpetersäure zu leiden hat. Doch nicht allein Platten, die in der gewöhnlichen Art der Kupferstiche ausgeführt sind, kann man auf galvanischem Wege herstellen, sondern auch Platten, welche Bilder in sogenannter Tuschmanier geben, hat Kobell in München auf folgendem Wege angefertigt. Auf eine polierte Kupferplatte wird das Bild mit einer Lösung von Damaraharz in Terpentinöl, der etwas Eisenroth zugesetzt ist, so aufgezeichnet, daß die hellen Stellen frei bleiben, daß aber die Schicht um so dicker wird, je dunkler der Schatten sein soll, und darauf wird diese Platte, nachdem sie mit Graphit überzogen ist, in den galvanoplastischen Apparat gebracht. Der Niederschlag, den man erhält, wird nun selbst wie eine geätzte Kupferplatte behandelt und giebt Abdrücke, welche den Bildern gleichen, die in Tuschmanier gemalt sind.

Weit größere Schwierigkeiten stellen sich der Ausführung entgegen, wenn es gilt Gegenstände in vollständig erhabener Arbeit auf galvanischem Wege nachzubilden, wie z. B. Büsten, Statuen, Vasen, Kapitäler oder andere Werke der Sculptur und der Architectur: doch auch diese Schwierigkeiten sind jetzt gehoben und auch die Lösung dieser Aufgabe ist der vervollkommneten Technik geglückt. Zuvörderst mußte man darauf bedacht sein Mittel zu finden, welche verhinderten, daß nicht der Niederschlag an der einen Stelle dicker werde als an der anderen, sondern daß er überall eine Stärke bekommt, welche genügt um der Nachbildung hinreichende Festigkeit zu geben. Man fertigt zuerst von dem nachzubildenden Gegenstande eine Form an, welche aus einzelnen Theilen besteht, indem man die verschiedenen Partien des Gegenstandes in Gyps oder einem ähnlichen Stoffe abdrückt. Diese Theile werden aber nachher so genau an einander gepaßt, daß sie eine Höhlung umschließen, die genau die Form der Gegenstandes besitzt. Auf die innere Fläche dieser Höhlung wird Graphit aufgetragen, die Höhlung selbst aber, mit der

Lösung, aus der sich das Metall ausscheidet, gefüllt. Anfangs brachte man in den inneren Raum dieser Lösung eine lösliche Elektrode, welche man mit dem positiven Pole in Verbindung setzte, während vom negativen Pole eine Leitung zur Innenfläche der Form geführt wurde: allein da diese Elektrode sich sehr schnell auflöste und einen Niederschlag gab, dessen Dicke an den verschiedenen Punkten sehr ungleich war, so wurde

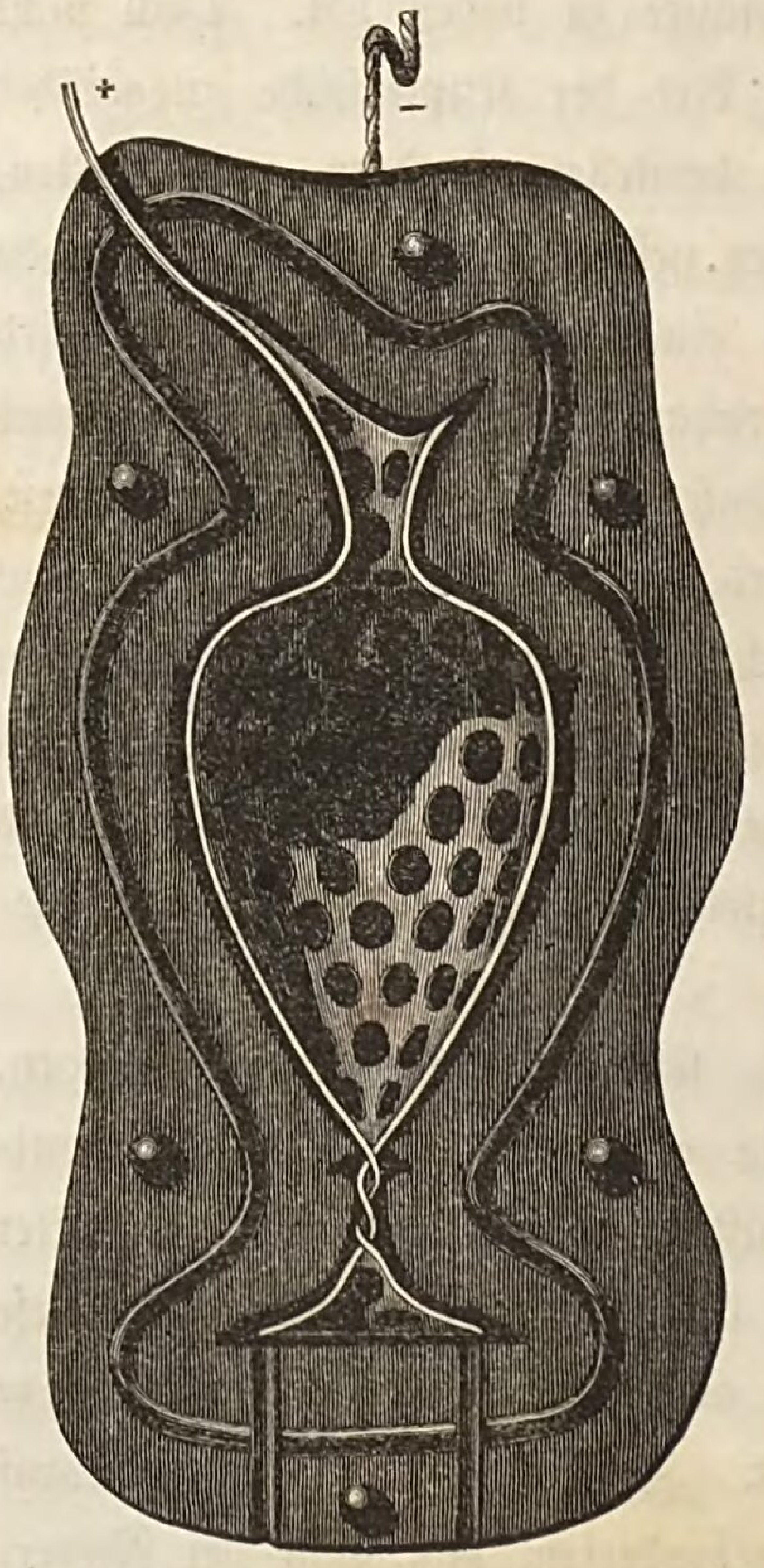


Fig. 401. Form für die galvanische Nachbildung einer Vase.


Fig. 402. Galvanische Nachbildung einer Vase.

sie nach Lenoir's Vorschlage durch eine unlösliche Elektrode ersetzt, welche aus Platindrähten bestand, die sich im Innern der Form nach allen Seiten hin verzweigen ohne die Oberfläche an irgend welcher Stelle zu berühren. Um das Kupfer, welches sich während des Prozesses aus der Lösung ausscheidet, immer wieder zu ersetzen hängt man in das Innere der Höhlung einen Beutel aus Guttapercha, der mit Krystallen aus Kupfervitriol gefüllt ist und dessen Wände durchlöchert sind. Allein

dieses Verfahren ist immerhin etwas kostspielig und läßt sich nur bei kleineren Gegenständen anwenden: für größere Gegenstände empfiehlt Planté das Platin durch Blei zu ersetzen; man bringt in die Form einen mehrfach durchlöcherten Kern aus Blei, welcher in groben Umrissen annähernd die Gestalt des Gegenstandes besitzt, nur daß er etwas kleiner ist, sodaß zwischen ihm und der Wand allenthalben ein genügender Zwischenraum frei bleibt.

Fig. 401 zeigt die eine Hälfte der Gießform, welche zur galvanischen Nachbildung der in Fig. 402 dargestellten Vase gedient hat, mit dem Kerne aus Blei, zu welchem der positive Pol geleitet wird. Mittels dieses Verfahrens konnten bereits eine Reihe sehr schöner und umfangreicher Werke der Kunst nachgebildet werden. Statuen von 2 Meter, ja sogar von 4½ Meter Höhe, welche für den neuen Saal der großen Oper bestimmt waren, sind durch Hilfe der Elektricität in einer Vollkommenheit nachgebildet worden, die hinter den Werken der alten Erzgießerei in keiner Weise nachsteht. Ja einmal ist es gelungen, eine Statue von 9 Meter Höhe und 35000 Kgr. Gewicht herzustellen, bei welcher die Seitenwände eine Dicke von nicht weniger als 4½ mm besitzen; allein diese Arbeit, welche ebenso wie die zuvor erwähnten in der berühmten Werkstätte von Christofle ausgeführt wurde, hat nicht weniger als 2½ Monate zu ihrer Vollendung in Anspruch genommen. Eine weitere sehr schöne Arbeit, nämlich die galvanische Nachbildung der Basreliefs, welche die Trajanssäule bedecken, ist von Oudry ausgeführt worden. Die Zahl dieser Basreliefs beträgt nicht weniger als 600 und jedes derselben hat im Mittel eine Oberfläche von 1 Quadratmeter. Diese Beispiele mögen genügen um die Wichtigkeit der Galvanoplastik für Kunst und Kunstgewerbe darzulegen.

§ 3. Die Galvanisation.

Das Princip, auf welchem die Methoden der galvanischen Vergoldung, Versilberung, kurz der Galvanisation oder Herstellung sehr dünner metallischer Niederschläge, welche an der Oberfläche anderer Körper fest haften, beruhen, ist genau dasselbe wie bei der Galvanoplastik im engeren Sinne des Wortes: auch hier kommt die zersetzende Wirkung des Stromes zur Anwendung, durch dessen Thätigkeit am negativen Pole

sich Gold, Silber oder irgend ein anderes Metall aus einer Lösung ausscheidet. Allein in der praktischen Ausführung stellt sich die Aufgabe wesentlich anders, denn in diesem Falle gilt es besonders darauf zu achten, daß der Niederschlag gegen den Körper, an welchem er sich bildet, sehr bedeutende Adhäsion besitzt, und dazu muß einestheils die Oberfläche des Gegenstandes eine besondere Behandlung erfahren, durch welche sie sehr rein wird, und anderntheils muß man in Bezug auf die Lösung die geeignete Wahl treffen; auch in dieser Beziehung haben Elkington und Ruols sich um die Verbesserung des Verfahrens große Verdienste erworben.

Was zunächst die Vorbereitung der Oberfläche anlangt, so besteht dieselbe bald darin, daß man den Gegenstand bis zum Glühen erhitzt, bald darin, daß man ihn mit irgend einer Beize behandelt: beide Mittel werden angewendet um jeden fremden Stoff von der Oberfläche zu entfernen. Besteht der Körper aus Bronze, so erhitzt man ihn, bis er dunkelroth glüht. Messing wird dagegen mit einer gesättigten Lösung von Soda gewaschen; im letzteren Falle bleibt aber immer noch eine ganz feine Oxydschicht zurück, welche man schließlich durch Eintauchen des Gegenstandes in verdünnte Säure entfernt. Soll ein Körper aus Eisen, Stahl, Zink oder Aluminium vergoldet werden, so muß man auf ihm zunächst eine ganz dünne Kupferschicht sich niederschlagen lassen, weil sich ohne dieselbe das Gold oder das Silber nicht fest an ihn anhängt.

Es handelt sich nun weiter darum, daß man die Flüssigkeiten, aus denen sich das Metall niederschlagen soll, in geeigneter Weise mischt, und man hat gefunden, daß es für die Vergoldung am zweckmäßigsten ist, wenn man eine Lösung von Cyangold und Cyankalium darstellt, in welcher letzteres im Ueberschusse vorhanden ist; eine ähnliche Lösung aus Cyansilber und Cyankalium dient zur Herstellung eines Ueberzuges aus Silber. Es ist gut, wenn man während der Zeit, in welcher sich der Niederschlag bildet, das Bad bis auf etwa 70° erwärmt, weil dann die Farbe des Niederschlages viel lebhafter wird, als wenn der Vorgang bei gewöhnlicher Temperatur erfolgt. Den Gegenstand, welcher versilbert werden soll, verbindet man mit dem negativen Pole einer Batterie, während der positive Pol zu einer Gold- oder Silberplatte abgeleitet wird, welche als lösliche Elektrode in das Bad eintaucht. Sobald der

Strom geschlossen ist, scheidet sich aus der Lösung das Gold oder Silber ab und bildet einen Ueberzug über den Gegenstand, das Chlor oder Cyan dagegen, welches zum positiven Pole wandert, verbindet sich dort zugleich wieder mit dem Metalle der eingehängten Platte, sodaß die Lösung beständig denselben Grad der Concentration behält.

Bisweilen gebraucht man nur einfache Apparate, wie Fig. 403 einen solchen darstellt: in einem weiten Glasgefäße befindet sich die Lösung, aus der sich das Metall abscheiden soll, in der Mitte aber steht aufrecht eine Thonzelle, die mit verdünnter Säure gefüllt ist. In letztere

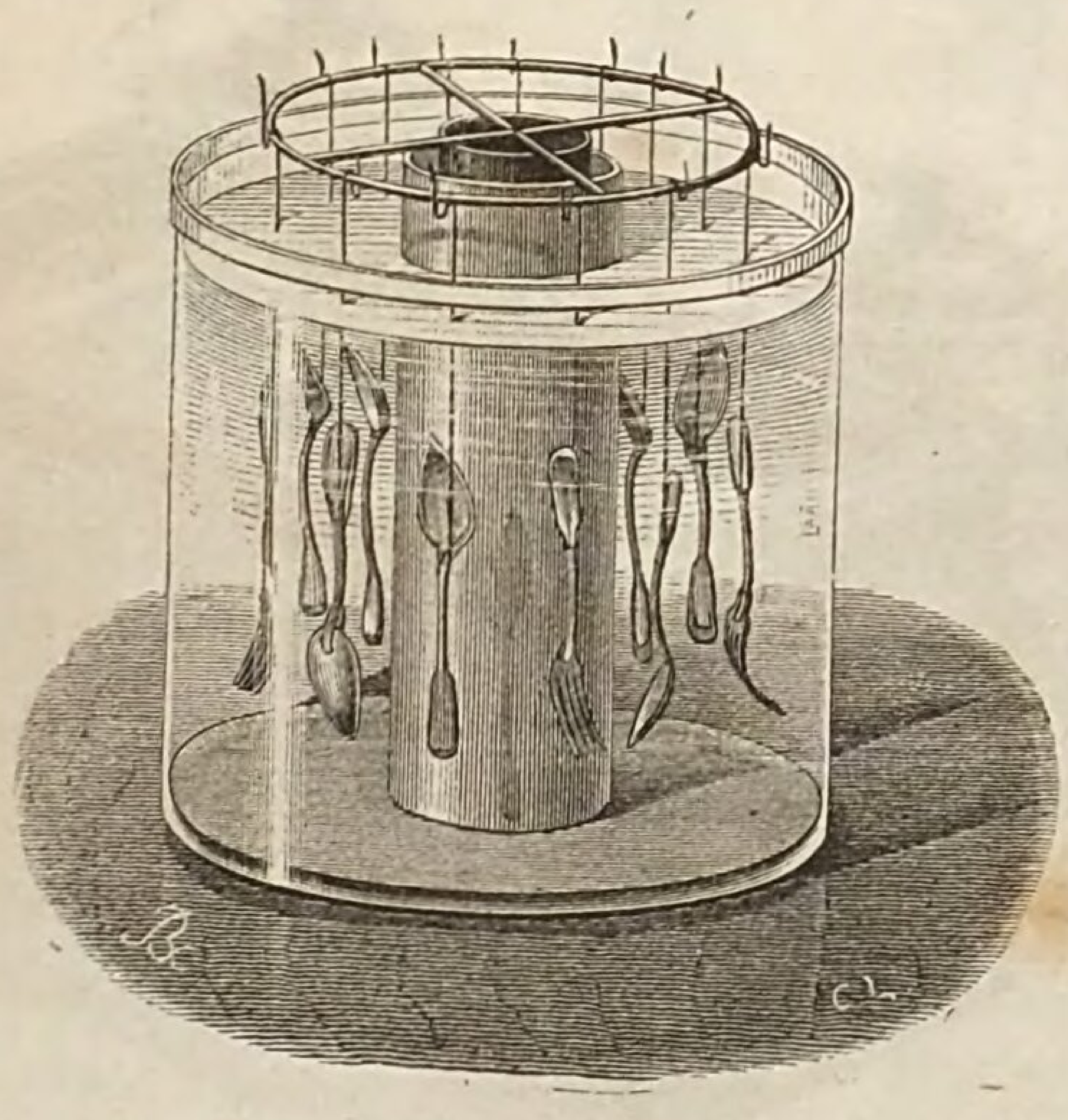


Fig. 403. Einfacher Apparat für die Galvanisation.

Flüssigkeit taucht ein Zinkkolben, welcher einen Metallring trägt, und an letzteren sind die Gegenstände, auf welchen sich der Niederschlag bilden soll, mittels feiner Drähte angehängt; man sieht, daß der ganze Apparat selbst ein galvanisches Element bildet. Wo dagegen die Fabrikation etwas in's Große getrieben werden soll, da benutzt man zusammengesetzte Apparate (Fig. 404), bei denen der elektrische Strom von einer außerhalb aufgestellten Batterie herstammt. Man hängt die Gegenstände an Kupferstäbe an, welche von einem kupfernen Rahmen getragen werden, der mit dem negativen Pole der Batterie in Verbindung steht; ein zweiter ähnlich gestalteter Rahmen mit Stäben, welcher von dem ersten isoliert ist, trägt Gold- oder Silberplatten und steht mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung. Sowohl die Gegenstände, wie auch

die Metallplatten werden in ein weites hölzernes Gefäß getaucht, dessen Wände innerlich mit Guttapercha überzogen sind und das die Lösung enthält, aus der sich der Niederschlag bildet.

Die Stärke des Stromes ist so zu regulieren, daß der Niederschlag sich fest an den Gegenstand anhängt und sich überall in vollkommen gleichmäßiger Stärke bildet: namentlich muß man vermeiden zu starke Ströme zur Anwendung zu bringen. Welche Dicke die Schicht erlangt, das hängt natürlich von der Zeit ab, während welcher der Strom im

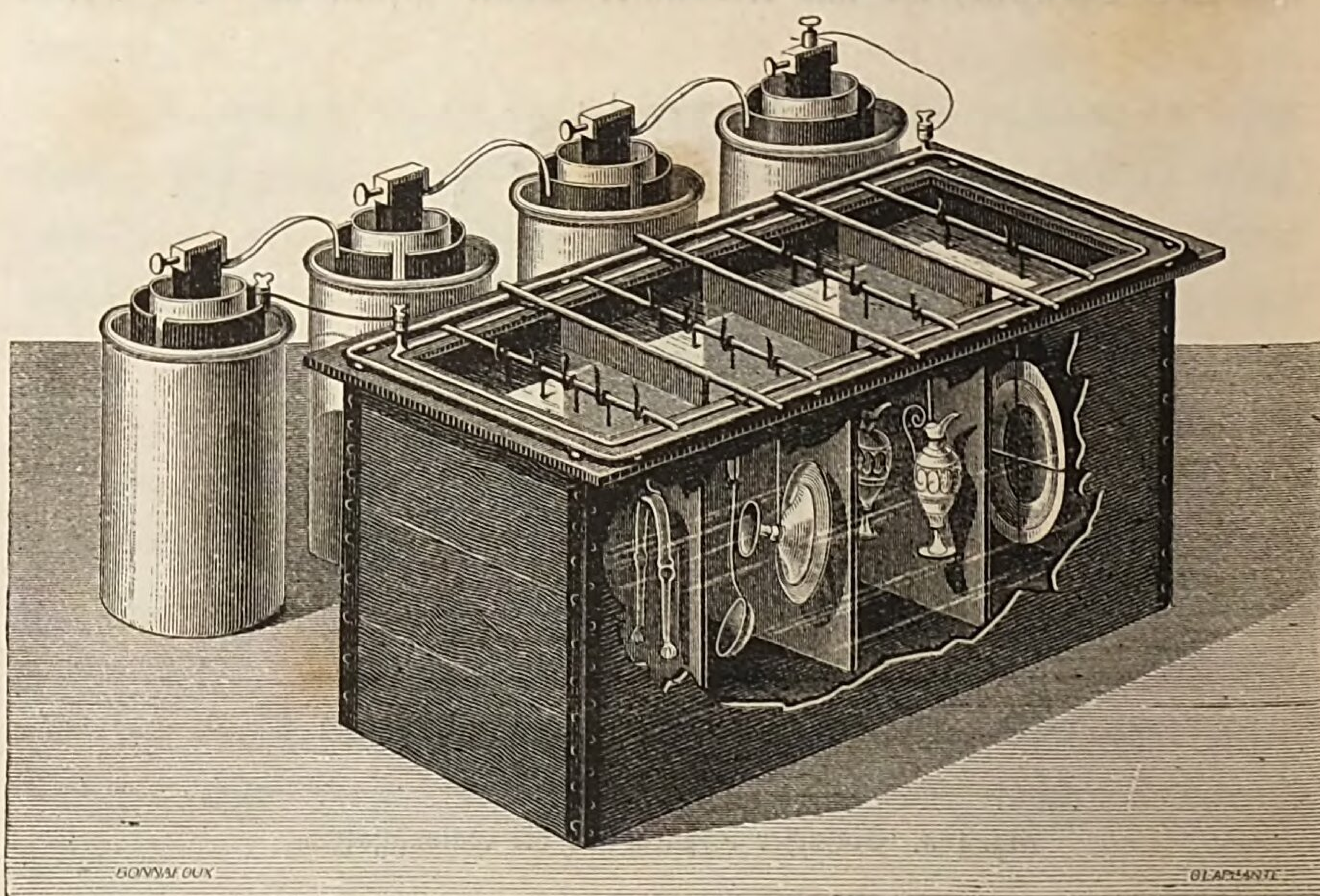


Fig. 404. Zusammengesetzter Apparat für die Galvanisation.

Gange war. Hat man die Gegenstände gewogen, bevor man sie in das Bad eintauchte, aber nachdem sie in der angegebenen Weise sorgfältig gereinigt waren, so kann man durch eine abermalige Wägung nach Beendigung des Zersetzungsprocesses genau bestimmen, wie viel von dem edlen Metalle sich auf ihnen niedergeschlagen hat und wie dick also die Vergoldung oder Versilberung auf ihnen aufgetragen ist. Will man mit voller Sicherheit vorausbestimmen, wie groß das Gewicht des Goldes oder Silbers ist, so kann man sich eines Apparates bedienen, den Roseleur erfunden hat und den man als galvanoplastische Wage bezeichnet (Fig. 405); derselbe unterbricht selbst den Proceß, sobald sich

eine genügende Menge des edlen Metalles niedergeschlagen hat. Wir erblicken in unserer Abbildung auf der linken Seite zunächst das Gefäß mit der Gold= oder Silberlösung, in welche die Gegenstände, die an dem Wagbalken einer Wage hängen, eingetaucht sind. Am Grunde dieses Gefäßes liegt die lösliche Elektrode, welche den Ausfall an Metall

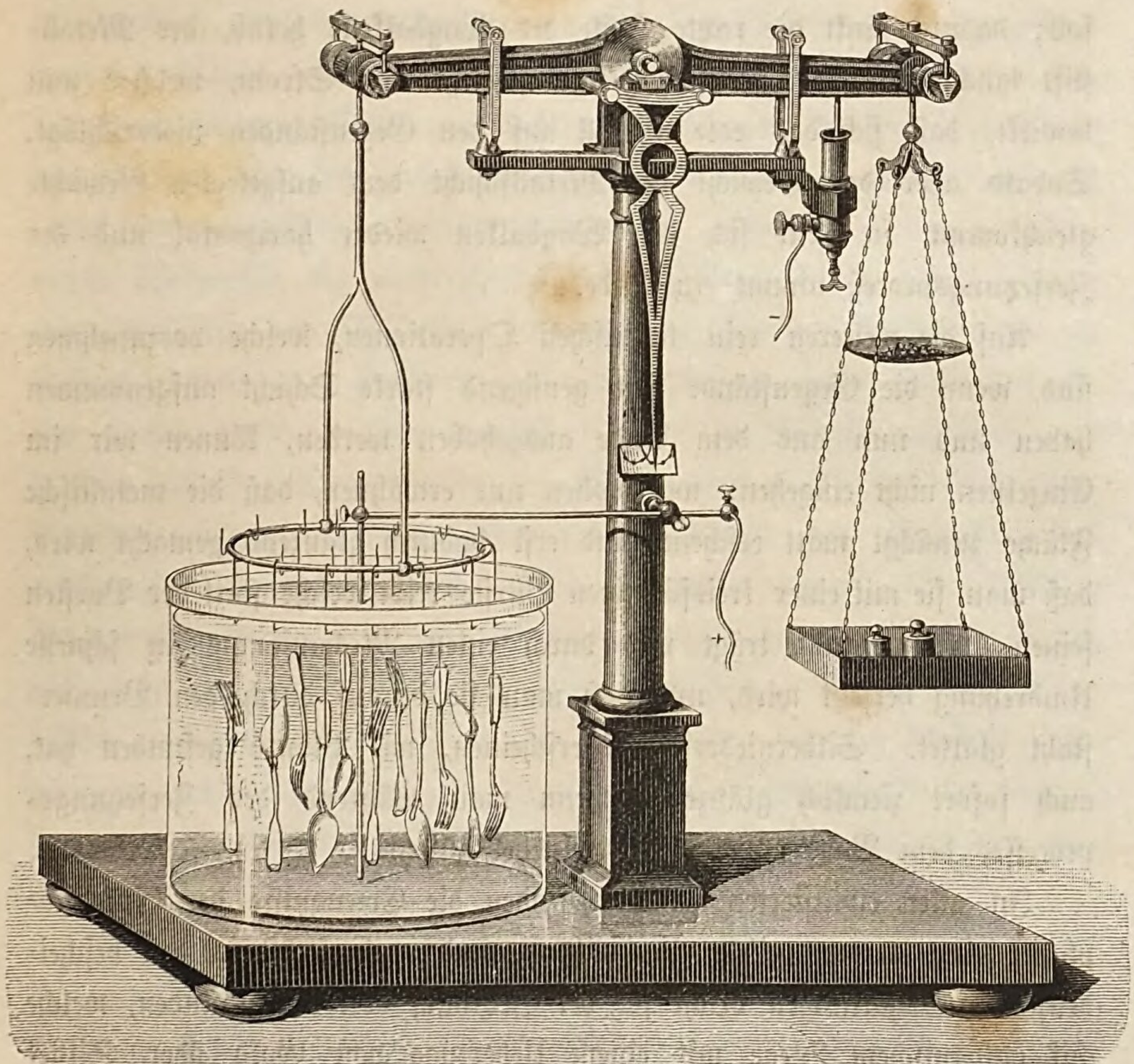


Fig. 405. Galvanoplastische Wage von Roseleur.

in der Lösung immer wieder deckt und durch Metallstäbe mit dem positiven Pole der Batterie in Verbindung gesetzt ist. Die andere Seite des Wagbalkens trägt zwei Wagschalen, von denen die obere für die Aufnahme einer Tara bestimmt ist, welche den Wagbalken in horizontale Lage bringt, sobald die angehängten Gegenstände in die Lösung eintauchen. Auf derselben Seite des Wagbalkens befindet sich ein Metallstab,

welcher in ein Blechgefäß hinabreicht, das mit Quecksilber gefüllt und mit dem negativen Pole der Batterie verbunden ist: die Menge des Quecksilbers ist so bemessen, daß bei horizontaler Stellung des Wagbalkens der Stab den Spiegel nicht berührt sondern noch einen kleinen Abstand von demselben hat. Auf die untere Wagschale legt man nun so viel Gewichte auf, als der Niederschlag an edlem Metalle betragen soll; dadurch sinkt die rechte Seite des Wagbalkens herab, der Metallstift taucht in das Quecksilber und schließt den Strom, welcher nun bewirkt, daß sich das edle Metall auf den Gegenständen niederschlägt. Sobald aber das Gewicht der Metallschicht dem aufgelegten Gewichte gleichkommt, so stellt sich der Wagbalken wieder horizontal und der Zersetzungsproceß nimmt ein Ende.

Auf die weiteren rein technischen Operationen, welche vorzunehmen sind, wenn die Gegenstände eine genügend starke Schicht aufgenommen haben und nun aus dem Bade ausgehoben werden, können wir im Einzelnen nicht eingehen: wir wollen nur erwähnen, daß die metallische Fläche zunächst matt erscheint und erst dadurch glänzend gemacht wird, daß man sie mit einer kreisförmigen Bürste reibt welche statt der Borsten feinen Messingdraht trägt und durch einen Mechanismus in schnelle Umdrehung versetzt wird, und daß man sie darauf durch den Brunierstahl glättet. Silberniederschläge erscheinen, wie Planté gefunden hat, auch sofort ziemlich glänzend, wenn man während des Zersetzungsprocesses dem Bade etwas Schwefelsilber zusetzt.

In allen civilisierten Ländern finden die Erzeugnisse der Galvanoplastik eine immer weitere Verbreitung, und auch selbst in den bescheidensten Haushaltungen bricht sich der Gebrauch von Gegenständen, welche auf galvanischem Wege mit einem Ueberzuge von Gold oder Silber versehen worden sind, immer mehr Bahn: eine erfreuliche Erscheinung, indem auf diese Weise sich nicht allein ein feinerer Geschmack durch die ganze Bevölkerung verbreitet, sondern hauptsächlich weil dieses Hilfsmittel bedeutend zur Erhöhung der Sauberkeit beiträgt; denn zu den besten Eigenschaften des Goldes oder Silbers ist wohl zu zählen, daß sich diese Metalle an ihrer Oberfläche nicht leicht ändern, daß sie namentlich, wenn sie rein sind, weder Rost noch Grünspan ansetzen. Gleichzeitig hat auch die Sorge für das Wohl der Menschen bei der Einführung der Galvanisation ihre Rechnung gefunden: denn durch das

Verlassen der alten Verfahrungsarten, bei denen die Vergoldung unter Beihilfe des Quecksilbers ausgeführt wurde, sind Hunderte von Arbeitern der tödtlichen Einwirkung der höchst giftigen Dämpfe, welche von dem zuletzt genannten Metalle aufsteigen, entzogen worden. Endlich ist eine beträchtliche Menge der beiden edlen Metalle, welche früher, als alle Geräthschaften massiv angefertigt wurden, in den Werken der Goldschmiedekunst nutzlos aufgespeichert wurden, dem Verkehre wieder zugeführt worden. Welche bedeutende Summen dabei in Betracht kommen, wollen wir durch folgende Stelle zur Anschauung bringen, die wir dem Werke von Turgan über die großen Werkstätten entnehmen: „Einige auf gut Glück herausgegriffene Zahlen werden eine Vorstellung davon geben, welche Wichtigkeit die elektrische Metallscheidekunst schon allein in dem einen Geschäfte von Christofle erlangt hat, welches seit Erlöschen des an Elkington verliehenen Patentes gar nicht mehr das einzige seiner Art ist. Im Jahre 1865 wurden daselbst 5,600,000 Bestecke versilbert und dadurch 33,600 Kgr. Silber im Werthe von 6,700,000 Frs. dem Verkehre entzogen. Wäre eine gleiche Anzahl von Bestecken aus massivem Silber angefertigt worden, so wäre dadurch eine Million Kilogramm Silber aus dem Verkehre verschwunden, die einen Werth von mehr als 200 Millionen Francs darstellt. Die 33,600 Kgr. Silber würden bei der Dicke, in welcher sie auf die Bestecke aufgetragen werden (nämlich so, daß auf den Quadratdecimeter immer 3 gr. Silber kommen), eine Fläche von 112,000 Quadratmeter bedecken.

Auch in vielen anderen Beziehungen hat sich das Kunstgewerbe die Erfindungen der Galvanisation zu Nutze gemacht: so versteht man jetzt z. B. werthvollen Möbeln (Fig. 406) mannigfaltigen Schmuck zu verleihen. Theilt man die Oberfläche derselben in mehrere Felder, und bedeckt das eine mit einer Schicht von Gold, das andere mit einer Schicht von Silber, läßt man manche derselben glatt, während man andere poliert, und wechselt man schließlich auch noch mit der Art des Goldes, indem man bald grünes Gold mit Silberzusatz, bald rothes Gold anwendet, so kann man in den Verzierungen eine Mannigfaltigkeit erzielen, die den Geräthschaften ein außerordentlich reiches Aussehen gewährt. Da man die Felder, die mit Metall ausgefüllt werden sollen, beliebig tief aushöhlen und mit Metall ausfüllen kann, so ist die

Möglichkeit gegeben, mit der Schönheit der Form auch die Solidität der Arbeit zu verbinden.

Gold und Silber sind nicht die einzigen Metalle, welche sich auf elektrischem Wege in Schichten, die fest an den Gegenständen haften,

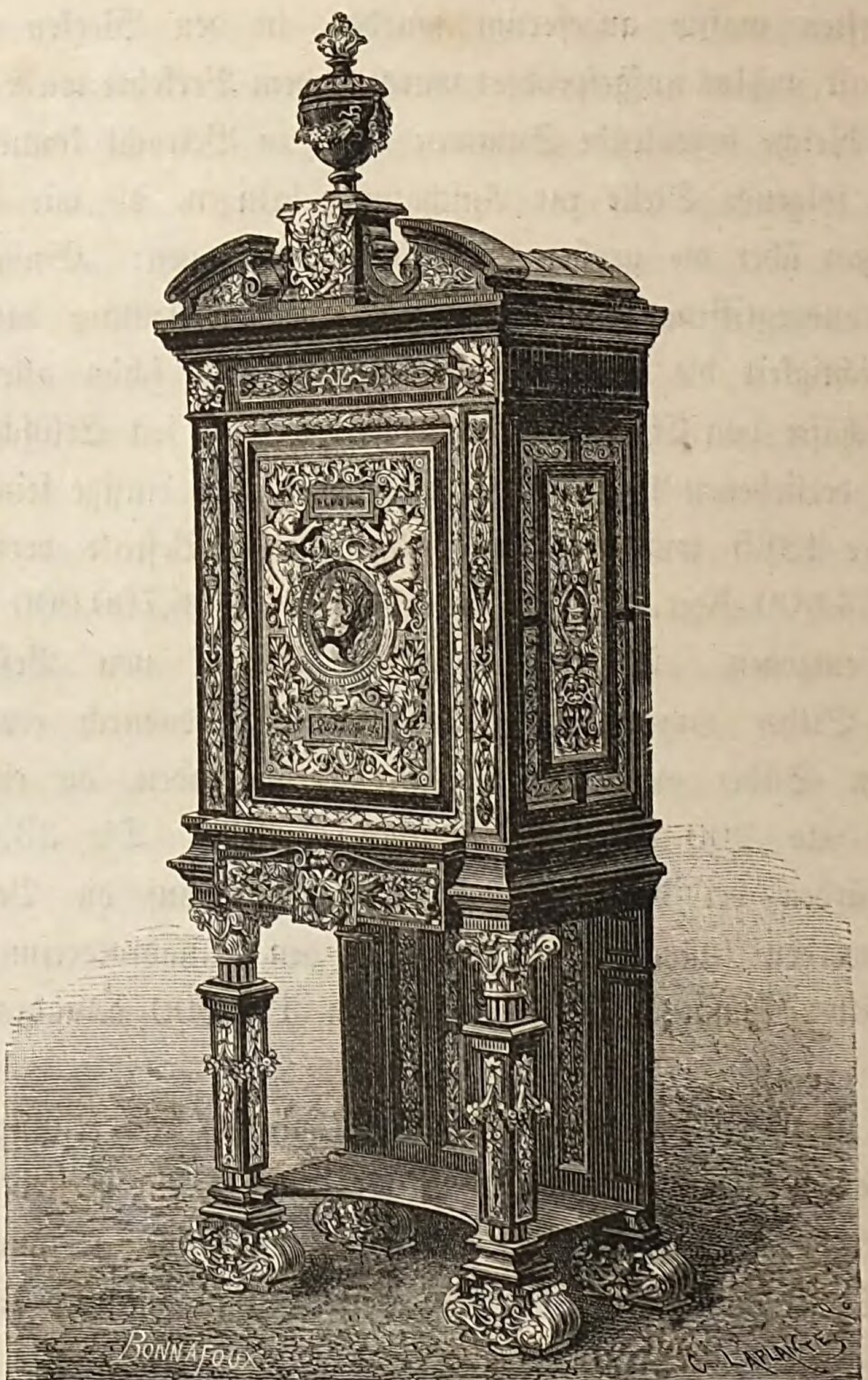


Fig. 406. Kunstmöbel mit gavanoplastischen Verzierungen.

niederschlagen lassen: sondern man kann auf ähnliche Weise auch metallische Ueberzüge aus Platin, Messing, Zinn, Zink, Stahl und Nickel herstellen wenn man geeignete Lösungen dieser Metalle anwendet. Für den Niederschlag des Platin benutzt man eine Lösung von doppeltphosphorsaurem Platin und Natron; eiserne Gegenstände werden in

einem Bade von phosphorsaurem Natron und Zinnchlorid verzinnt; auch Blei und Zink werden in ähnlicher Weise mit Zinn überzogen. Nägel aus sogenanntem galvanisiertem Eisen werden jetzt vielfach angewendet, wenn es gilt Gegenstände im Freien zu befestigen, weil dieselben den Angriffen der Witterung viel besseren Widerstand leisten. Eine sehr wichtige Anwendung der Galvanisation ist endlich die Stählung der Kupferplatten, die zum Drucke bestimmt sind: überzieht man diese Platten mit einer feinen Schicht von Stahl, so widerstehen sie viel besser der Abnutzung durch den Druck; schwindet auch dieser Ueberzug, was man daran erkennt, daß das rothe Kupfer durch den Ueberzug hindurch schimmert, so kann man letzteren durch eine Wiederholung des galvanoplastischen Verfahrens von Neuem herstellen.

Schließlich wollen wir in diesem Abschnitte, welcher sich mit einer kurzen Darstellung der Anwendungen beschäftigte, die man von den chemischen Eigenschaften der galvanischen Ströme macht, noch einen neuen Industriezweig erwähnen, welcher auf denselben Vorgängen beruht und sich unter den Händen seines Erfinders Oudry rasch zu ziemlicher Vollkommenheit entwickelt hat. Wenn es sich darum handelt Gegenstände von sehr großer Ausdehnung, wie Vasen, Statuen, Kronleuchter u. s. w., mit einem Ueberzuge von Kupfer zu bedecken, so hat man eine Reihe von Schwierigkeiten zu überwinden, die bei der Behandlung kleinerer Gegenstände nicht hervortreten: namentlich ist es nicht leicht die großen Flächen so vorzubereiten und so sorgfältig zu reinigen, daß der Niederschlag fest an ihnen haftet, und es würde vollständig ungenügend sein, wenn man die Flächen nur einfach mit einer Schicht von Graphit bedecken wollte. Da nun weiter die in den Bädern enthaltene Säure die Oberfläche der Körper bereits angreifen würde, bevor sich noch ein Niederschlag von genügender Dicke bildet, überzieht Oudry die Gegenstände mit einem Firniß, welcher den elektrischen Strom nicht leitet und von den Säuren nicht angegriffen wird, nachdem er zuvor die Flächen gereinigt und, wo es nöthig ist, an den Verzierungen mit Hilfe der Feile und des Grabstichels Verbesserungen angebracht hat. Ist dieser Firniß, der als ein Hauptbestandtheil Benzin enthält und mit dem Pinsel aufgetragen wird, getrocknet, so bedeckt man den Körper überall da, wo sich Kupfer niederschlagen soll, mit Graphit, auf diejenigen Stellen aber, welche keinen Kupferniederschlag erhalten sollen trägt man

einen Ueberzug aus Thonerde auf und bringt nun den Körper in ein großes Gefäß, welches die Kupferlösung enthält und in welchem nun der elektrolytische Proceß vor sich geht. Nach Verlauf von fünf bis sechs Tagen hat der Niederschlag die Dicke eines Millimeters erlangt und es erübrigt nur noch ihn mit einer Bürste abzureiben, welche mit einer Lösung von essigsaurem Kupferoxyd und Ammoniak getränkt ist, damit die Oberfläche das Aussehen von Bronze erhält. Die öffentlichen Kandelaber in Paris, die kunstvollen Brunnen auf dem Place Louvois und dem Concordienplatze, die äußeren Thorflügel an dem neuen Gebäude der großen Oper, und noch zahlreiche andere metallische Verzierungen an Gebäuden sind durch dieses Verfahren hergestellt worden und man hat dadurch an Stelle der alten gegossenen Ornamente, welche trotz ihres Lacküberzuges nicht vor den Zerstörungen durch Rost geschützt werden können, neue Ausschmückungen erhalten, welche nicht allein in ihrer Form den Anforderungen des künstlerischen Geschmackes vollständig genügen, sondern welche auch eine viel größere Haltbarkeit besitzen. Auch in dieser Technik wie in allen zuvor erwähnten Anwendungen steht der Galvanoplastik noch eine große Zukunft bevor.

Neuntes Kapitel.

Verschiedene Anwendungen der Elektricität.

§ 1. Die Elektricität als Heilmittel.

Wenn wir uns vornahmen die Anwendungen der elektrischen Ströme in den verschiedenen Zweigen des gewerblichen und künstlerischen Lebens zu besprechen, so mußten wir selbstverständlich, wenn wir den Raum eines Buches nicht überschreiten wollten, von vorne herein eine Auswahl treffen und wir durften nur diejenigen in Berücksichtigung ziehen, welche ganz besondere Wichtigkeit besitzen und eine allgemeine Einführung gefunden haben: auch durften wir in unseren Betrachtungen in der Hauptsache nur diejenigen Erscheinungen berücksichtigen, welche sich auf die physikalischen Eigenschaften der Elektricität stützen, das technische durften wir dagegen nur so weit berühren, als zum Verständnisse unbedingt nothwendig war. Wir können aber dieses Buch nicht zum Abschlusse

bringen, ohne daß wir noch zwei mehr vereinzelt stehende Anwendungen der Elektricität in zwei sehr verschiedenen Wissenschaften, nämlich in der Medicin und in der Metereologie, zur Sprache bringen, da beide, so verschiedenartig sie auch sein mögen, doch bereits eine sehr große Wichtigkeit erlangt haben und vermuthlich auch in Zukunft einer weiteren Entwickelung fähig sind. In der Medicin wird die Elektricität geradezu als Heilmittel angewendet, in der Metereologie hingegen dient sie dazu die Werthe der zu beobachtenden Größen in ununterbrochener Folge selbstthätig aufzuzeichnen und dadurch ein Beobachtungsmaterial zu liefern, wie es selbst der fleißigste und gewissenhafteste Beobachter nicht zusammenzustellen vermag.

Was nun zunächst die erste Anwendung betrifft, nämlich den Gebrauch der Elektricität als Heilmittel, so muß es uns natürlich fern liegen hier ein Urtheil über den Werth dieses Mittels auszusprechen: wir müssen diese Frage vollständig den Aerzten zur Entscheidung überlassen, welche durch Zusammenstellung der zahlreichen Erfahrungen, die sie zu machen Gelegenheit haben, allmählich feststellen müssen, in welchen Fällen dieses Mittel mit Aussicht auf Erfolg anzuwenden ist. Wenn auch in dieser Beziehung die Meinungen noch etwas auseinander gehen, so scheint sich doch die Ansicht der meisten Aerzte dahin zu neigen, daß der elektrische Strom in vielen Fällen eine wohlthätige Einwirkung ausübt; wenigstens steht unzweifelhaft fest, daß er eine Einwirkung auf die Nerven hervorbringt, welche sich schon bei verhältnißmäßig schwachen Strömen durch das Gefühl merklich macht, und daher ist man schon frühzeitig auf die Vermuthung gekommen, daß diese Erschütterungen unter Umständen einen günstigen Einfluß ausüben, und hat die Elektricität schon seit langer Zeit in die Medicin eingeführt.

Anfangs gebrauchte man die Entladung der Leidener Flasche um die Erschütterung hervorzurufen: als aber nach Galvani's und Volta's schönen Erfindungen und besonders nach Entdeckung der elektrischen Induction allmählich immer klarer wurde, daß der Schlag der Leidener Flasche zwar eine sehr heftige Erschütterung bewirkt, daß aber trotzdem die Menge der Elektricität, die bei ihm in Bewegung geräth, wegen seiner kurzen Dauer doch eigentlich nur gering ist im Vergleich zu der Elektricitätsmenge, die ein beständig fließender Strom liefert, so gab man dieses Verfahren vollständig auf. Jetzt benutzt man zu Heilzwecken

nur noch entweder die einfache galvanische Batterie oder Inductionsapparate verschiedener Construction, welche den zuerst erregten Inductionsstrom oder einen aus diesem hergeleiteten Strom in den Körper senden: ob in den einzelnen Fällen der primäre galvanische Strom oder ein secundärer Inductionsstrom, ja vielleicht sogar ein weiter abgeleiteter tertiärer oder quaternärer Strom anzuwenden ist, das sind Fragen, welche schon lange die Physiologen beschäftigen und durch deren Bemühungen der Lösung näher gebracht werden.

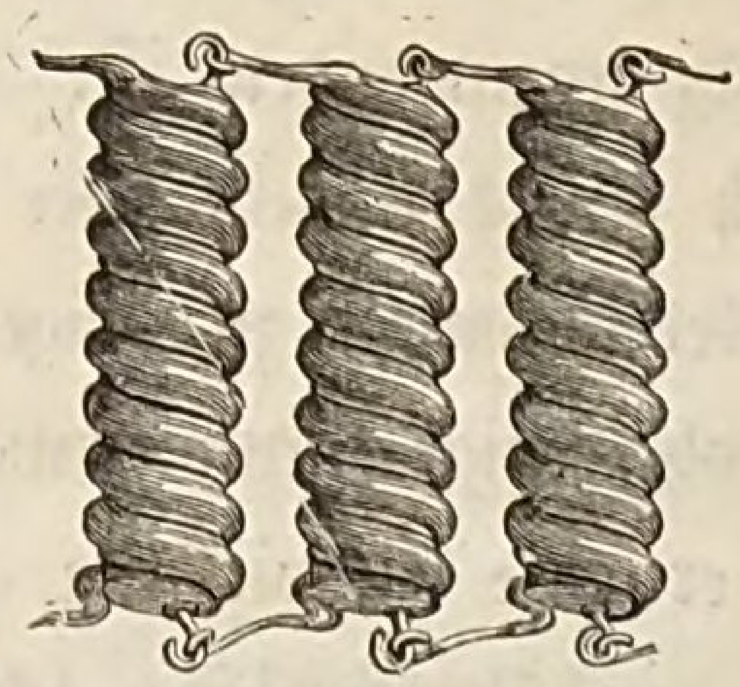


Fig. 407. Elemente der galvanischen Kette von Pulvermacher.



Fig. 408. Gebrauch der galvanischen Kette von Pulvermacher.

Will man einen ursprünglichen galvanischen Strom anwenden, so benutzt man jetzt meistens eine einfache galvanische Batterie aus Kohle-Zinkelementen, in denen eine Lösung von schwefelsaurem Quecksilberoxyd als Flüssigkeit dient: dreißig solche Elemente geben schon einen ziemlich kräftigen Strom, der recht gut wirkt. Sehr bequem für die Anwendung sind auch die von Pulvermacher erfundenen galvanischen Ketten (Fig. 407 und 408), deren einzelne Glieder je ein galvanisches Element bilden. Jedes dieser Elemente besteht nämlich aus einem Holzcylinder auf dessen Oberfläche zwei Schraubenlinien eingeschnitten sind: in diese Furchen legt man je einen Draht aus Zink und aus Kupfer, welche den Cylinder in mehreren Windungen umkreisen ohne sich selbst gegenseitig zu berühren.

Die beiden Enden des Kupferdrahtes des einen Cylinders werden mit den Enden des Zinkdrahtes des andern Cylinders verbunden und so die Elemente zu einer Kette vereinigt, deren Endglieder an zwei Handhaben befestigt sind. Will man die Kette zur Anwendung bringen, so legt man sie einige Zeit in verdünnten Weinessig, der sich in das Holz einsaugt und die leitende Flüssigkeit der Elemente bildet; darauf erfaßt der Kranke die beiden Handhaben und schließt damit die Kette, sodaß sein Körper nunmehr beständig vom Strome durchflossen wird. Da man früher meinte, daß die empfindlichen Erschütterungen des Körpers für die Wirksamkeit des Stromes nothwendig seien, so schaltete man Unterbrechungsvorrichtungen ein, durch welche der Strom abwechselnd geschlossen und geöffnet wurde: jetzt neigt man dagegen mehr zu der Ansicht, daß schon das ruhige Strömen eine genügende Wirkung ausübe und daß das Unterbrechen nur eine unnöthige Quälerei für den Kranken sei.

Die für die Heilkunst construierten Apparate, welche sich auf Induction gründen, scheinen sich in ihren Wirkungen nicht zu unterscheiden, gleichviel ob der Strom durch die Einwirkung eines Magneten oder durch einen Batteriestrom induciert worden ist. Die erste Art von Apparaten, zu denen die Inductionsapparate von Pixii und Clarke gehören, die wir im Buche der physikalischen Erscheinungen besprachen, heißen magnetoelektrische Rotationsapparate: sie beruhen darauf, daß vor den Polen eines starken, aus mehreren Lamellen zusammengesetzten Hufeisenmagneten zwei Eisenkerne mit Drahtrollen kreisen, von welchen aus die Ströme zu den Handgriffen geleitet werden. Die zweite Art von Inductionsapparaten sind streng genommen nichts weiter als Ruhmkorff'sche Inductoren von nicht zu übermäßiger Stärke, welche nur für die leichtere Handhabung bequem gemacht sind und eine Nebeneinrichtung besitzen, durch welche die Stärke der inducierten Ströme reguliert werden kann. In Fig. 409, welche einen derartigen Apparat darstellt, sehen wir zunächst auf der rechten Seite zwei kleine Elemente, bei denen doppeltschwefelsaures Quecksilberoxyd als leitende Flüssigkeit angewendet wird. Von diesen Elementen wird der Strom in zwei Drahtspiralen geleitet, welche Eisenkerne in sich einschließen, und kehrt durch einen Neef'schen Hammer zurück: sobald der Strom geschlossen ist, wird dieser Hammer angezogen und dadurch die Leitung unterbrochen; der Hammer federt wieder zurück und schließt die Leitung, sodaß schnell hintereinander

eine Reihe von Strömen von sehr kurzer Dauer den Stromkreis durchfließen. Um die Leitungsdrähte, in denen diese Ströme kreisen, ist eine zweite Lage von feinen Drähten gewickelt in denen bei jeder Schließung und Unterbrechung des Stromes Inductionsströme erregt werden, welche durch zwei Handgriffe, die mit den Enden der Drähte in Verbindung stehen, zum Körper übergeführt werden. Ueber die beiden Drahtrollen sind Kupferhülsen gesteckt, welche äußerlich mit einander verbunden sind, sodaß man sie nach Belieben durch eine äußerlich liegende Schraube zurückziehen und dadurch die Drahtspiralen bloßlegen kann. Solange diese Hülsen übergeschoben sind, werden auch in ihnen Inductionsströme erregt, welche den Strömen der Inductionsspirale entgegen wirken und

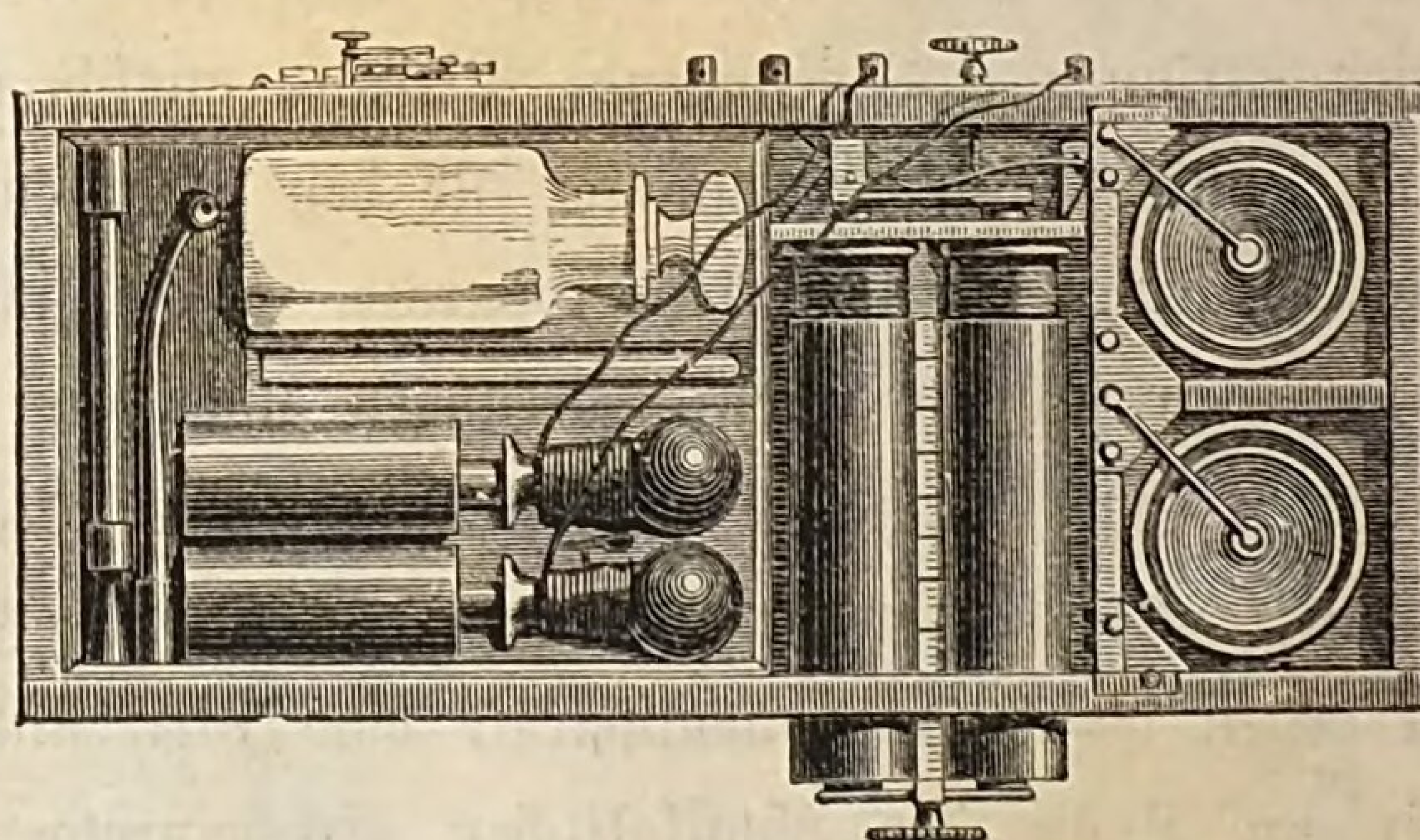


Fig. 409. Inductionsapparat zu Heilzwecken von Ruhmkorff.

deren Stärke bedeutend mindern: der Apparat wird also in diesem Falle ziemlich schwach, seine Wirkung steigert sich aber in dem Grade, als man die Hülsen zurückzieht und die Spiralen von ihnen befreit, sodaß man es vollständig in der Gewalt hat, bis zu welcher Energie man die Wirkung steigern will.

§ 2. Meteorologische Registrierapparate.

Zu den ältesten und doch auch wieder zu den jüngsten Zweigen der Naturkunde gehört die Witterungskunde oder Meteorologie: zu den ältesten, weil schon frühzeitig der Mensch in der Fürsorge für seine Anpflanzungen Veranlassung genug hatte auf die Veränderungen im Luftkreise seine Aufmerksamkeit zu richten und Erfahrungen zu sammeln, welche ihn in den Stand setzten die zu erwartenden Witterungsverhält-

nisse mit einiger Wahrscheinlichkeit im Voraus zu bestimmen; zu den jüngsten dagegen, weil man erst seit wenigen Jahrzehnten angefangen hat die Beobachtungsmethoden auf wissenschaftliche Principien zu gründen. Zwar besitzen wir schon seit Jahrhunderten das Barometer, welches im Jahre 1643 von Torricelli erfunden wurde, sowie das Thermometer, dessen Erfindung durch Drebbel oder Galilei noch etwas weiter zurückreicht, allein die Handhabung dieser und ähnlicher Instrumente hat erst in neuerer Zeit einen gewissen Grad der Vollkommenheit erreicht und erst in den letzten Jahrzehnten wird namentlich auf Anregung des hochverdienten Physikers Dove an bestimmten Punkten die Beobachtung dieser Instrumente zu gewissen Tagesstunden mit der größten Regelmäßigkeit ausgeführt. Das letztere Mittel ist aber auch das einzige, welches geeignet ist allmählich Klarheit über die Gesetze, denen auch die Witterung unterworfen ist, zu verbreiten, und um so vollkommener wird dieser Zweck zu erreichen sein, je näher die Zeitpunkte, an welchen die Beobachtungen angestellt werden, bei einander liegen: ja wenn es möglich wäre an vielen Orten Instrumente aufzustellen, welche selbstthätig die Aenderungen in der Witterung in ununterbrochener Weise aufzeichnen, so würde dies ein sehr großer Gewinn für die Wissenschaft sein.

Selbstthätig müssen diese Instrumente sein, denn den Beobachtern würde doch auch bei öfterer Ablösung kaum möglich sein eine längere Zeit hindurch die Instrumente ununterbrochen im Auge zu behalten und die Ablesungen beständig zu notieren: und welcher Aufwand an Zeit, Mühe und Kosten würde dazu erforderlich sein ganz abgesehen noch von der geisttödtenden Einförmigkeit der Beschäftigung; directe Ablesung durch Beobachter können immer nur zu gewissen Tagesstunden ausgeführt werden, und es bleiben mithin immer zwischen ihnen Lücken, deren Ausfüllung die gewonnenen Resultate wesentlich verbessern würde.

Bis vor einiger Zeit war das einzige selbstthätige Instrument der Thermometrograph, der aus zwei Thermometern bestand, in welchen kleine Stäbchen an dem höchsten und niedrigsten Stande, den die Temperatur in einer gewissen Zeit erreicht, liegen bleiben: dieses Instrument gab also bloß zwei vereinzelte Thatsachen, welche zwar an und für sich von großer Wichtigkeit sind, ihren vollen Werth aber erst dann erlangen, wenn sie mit anderen Beobachtungen in Zusammenhang gebracht werden, besonders da die Ablesungen an ihnen nicht erkennen lassen, zu welcher

Zeit das Maximum oder Minimum der Temperatur eingetreten ist. Alle anderen Versuche selbstregistrierende meteorologische Apparate zu construieren, welche bereits bis in das vorige Jahrhundert zurückreichen, scheiterten namentlich daran, daß man die Veränderungen der Beobachtungsinstrumente selbst in mechanische Kraft umzusetzen versuchte: diese Veränderungen sind aber an und für sich so geringfügig, daß sie den Zwischenmaschinen nicht eine Bewegung von genügender Größe mittheilen konnten.

Später kam man auf den Gedanken die neu erfundene Kunst der Photographie für die Aufzeichnung der Beobachtungen am Barometer und am Thermometer zu benutzen: man schloß die beiden genannten Instrumente in Rahmen ein, welche nur den Theil der Glasröhre freiließen, innerhalb dessen sich die Kuppe des Quecksilbers einstellt; und auch in diesem Theile ließ man die Ränder des Rahmens von der Seite her so weit übergreifen, daß das Licht nur oberhalb des Quecksilbers durch die Mitte der Röhre hindurchdringen konnte. Hinter diesem Rahmen wurde ein Streifen photographischen Papieres mittels eines Uhrwerkes innerhalb eines dunkeln Kastens hinter dem Spalte im Rahmen vorüber geführt. Während dieses Vorüberganges fielen die Strahlen einer Lampe, welche den Instrumenten gegenüber aufgestellt war, durch den Spalt auf das photographische Papier und bräunten dasselbe von Oben her bis zu der Stelle, an welcher sich die Spitze des Quecksilberfadens befindet, und, da das Papier immer weiter rückt, so erhält es seiner ganzen Länge nach in seinem oberen Theile eine braune Färbung, deren untere Grenze den jedesmaligen Stand der Instrumente angiebt und die Veränderungen desselben zur Anschauung bringt. Wenngleich gerade diese Veranschaulichung der Resultate einen sehr großen Vorzug der photographischen Registrierapparate ausmacht, so konnten dieselben doch nur wenig zur Anwendung gebracht werden, einmal weil sie durch den starken Verbrauch an photographischem Papiere bedeutende Betriebskosten beanspruchten, besonders aber weil es sehr schwierig ist diesem Papiere immer gerade die zu diesem Zwecke erforderliche Empfindlichkeit zu erhalten und das entstandene Bild nach dem Vorübergange des Streifens zu fixieren.

Man hat daher das erwähnte System wieder vollständig verlassen und benutzt dafür jetzt vielfach Registrierapparate, bei denen elektrische

Ströme zur Anwendung kommen. Wenn wir jetzt einige dieser Apparate kurz besprechen wollen, so bemerken wir im Voraus, daß die Registrierung im Allgemeinen darauf beruht, daß jeder Apparat einen Stift trägt, der seine Stellung mit dem Stande des Apparates ändert: vor diesem Stifte bewegt sich ein Papierstreif, welcher in regelmäßigen Zwischenräumen gegen den Stift gedrückt wird, sodaß in ihm ein Eindruck entsteht, welcher durch die Höhe, in der er sich befindet, den Stand des betreffenden meteorologischen Instrumentes angiebt. Das Weiterrücken der Papierstreifen wird durch ein Uhrwerk bewirkt, während das Zeichenmachen durch Vermittelung von elektrischen Strömen geschieht, die ebenfalls durch dasselbe Uhrwerk nach bestimmten Intervallen, vielleicht von zehn zu zehn Minuten geschlossen werden.

Fragen wir jetzt, auf welche Größen sich die Beobachtung hauptsächlich zu erstrecken hat, so finden wir, daß es sich besonders um den Druck, die Temperatur und den Feuchtigkeitsgehalt der Luft, sowie um Windrichtung und Windstärke handelt; der Grad der Bewölkung, die Tiefe des Blau des Himmels, sowie die Spannung der Luftelektricität entziehen sich dagegen vor der Hand noch der selbstthätigen Registrierung.

Für die Registrierung des Luftdruckes benutzt man wohl am besten das Secchi'sche Wagebarometer, dessen Barometerröhre an einem beweglichen Wagebalken befestigt ist, der auf der entgegengesetzten Seite ein Gegengewicht und den Schreibstift trägt. Beim Steigen des Luftdrucks dringt mehr Quecksilber in die Röhre ein und erhöht deren Gewicht beträchtlich, namentlich da sich die Röhre in dem Theile, in welchem sich die Kuppe des Quecksilbers beständig befindet, bedeutend erweitert. Die Folge ist, daß das Gegengewicht und mit ihm der Schreibstift etwas gehoben wird und daß der Eindruck, welchen letzterer im Papiere macht, höher liegt; in gleicher Weise sinkt der Schreibstift herab, wenn der Luftdruck geringer wird.

Für die Registrierung der Temperatur würden sich Quecksilber- oder Weingeistthermometer wenig eignen: man benutzt daher lieber Metallthermometer, welche darauf beruhen, daß sich die Metalle beim Erwärmen in verschiedenem Grade ausdehnen. Man löthet einen Streifen aus einem Metalle, welches sich weniger stark ausdehnt, wie z. B. Stahl, mit einem Streifen aus einem anderen Metalle, dessen Ausdehnung eine stärkere ist, wie z. B. Messing, zusammen: dieser Doppelstreifen wird

bei einer bestimmten Temperatur auch eine bestimmte Gestalt besitzen; wird er erwärmt, so krümmt er sich nach der Seite des weniger ausdehnbaren Metalles, wird er abgekühlt, nach der Seite des ausdehnsameren. Befestigt man nun das eine Ende dieses Streifens und versieht man das andere mit einem Schreibstifte, so kann letzterer den Stand der Temperatur markieren.

Zur Registrierung der Feuchtigkeit eignet sich weder das Hygrometer von Daniell, noch August's Psychrometer, so vorzüglich beide Instrumente sich zur Beobachtung eignen, wenn die Ablesung mit dem Auge geschieht, und man hat sich daher genöthigt gesehen zu dem ältesten Instrumente zurückzugreifen, dem Haarhygrometer von Saussure. Dasselbe besteht aus einem langen entfetteten Menschenhaare, welches einerseits befestigt, andererseits um eine Rolle geschlungen ist, die durch ein Gewicht in einer gewissen Spannung erhalten wird: in feuchter Luft saugt dieses Haar den Wasserdampf in sich auf, wird dadurch länger und giebt dem Zuge des Gewichtes etwas nach, sodaß sich die Rolle ein wenig nach der Seite des Gewichtes hin dreht; in trockner Luft verliert das Haar den Gehalt an Wasser wieder, wird dadurch kürzer und hebt das Gewicht. Bringt man nun an die Rolle eine Uebertragung an, so läßt sich mit derselben ein Zeiger in Verbindung setzen, der den Schreibstift trägt.

Zur Bestimmung der Windrichtung bedient man sich einer Wetterfahne, welche an ihrer Axe einen federnden Arm trägt, der auf einer Platte schleift. Diese Platte besteht gewöhnlich aus acht keilförmigen Stücken, welche nach den vier Haupt- und den vier Nebenhimmelsgegenden gerichtet und durch schmale Zwischenräume getrennt sind. Jede dieser Platten steht mittels eines Drahtes mit einem Elektromagneten und dieser wieder mit dem einen Pole der Batterie in Verbindung, während die Axe der Wetterfahne zum andern Pole hin abgeleitet ist. Bei jeder Stellung der Wetterfahne geht also der Strom durch einen der Sectoren der Platte und umkreist den mit demselben verbundenen Elektromagneten. Letzterer zieht einen Anker an und drückt dadurch einen der acht Schreibstifte, welche zu den acht Sectoren gehören und dem Papierstreifen gegenüber in einer Reihe über einander liegen, gegen das Papier, wodurch auf letzterem während der ganzen Zeit, in welcher der Wind aus derselben Richtung weht, ein Strich aufgezeichnet wird;

bei jedem Wechsel in der Windrichtung wird zugleich auch ein anderer Stift seine Thätigkeit beginnen.

Endlich zur Bestimmung der Stärke des Windes wendet man gewöhnlich den Woltmann'schen Windflügel an. Dieser Apparat besteht

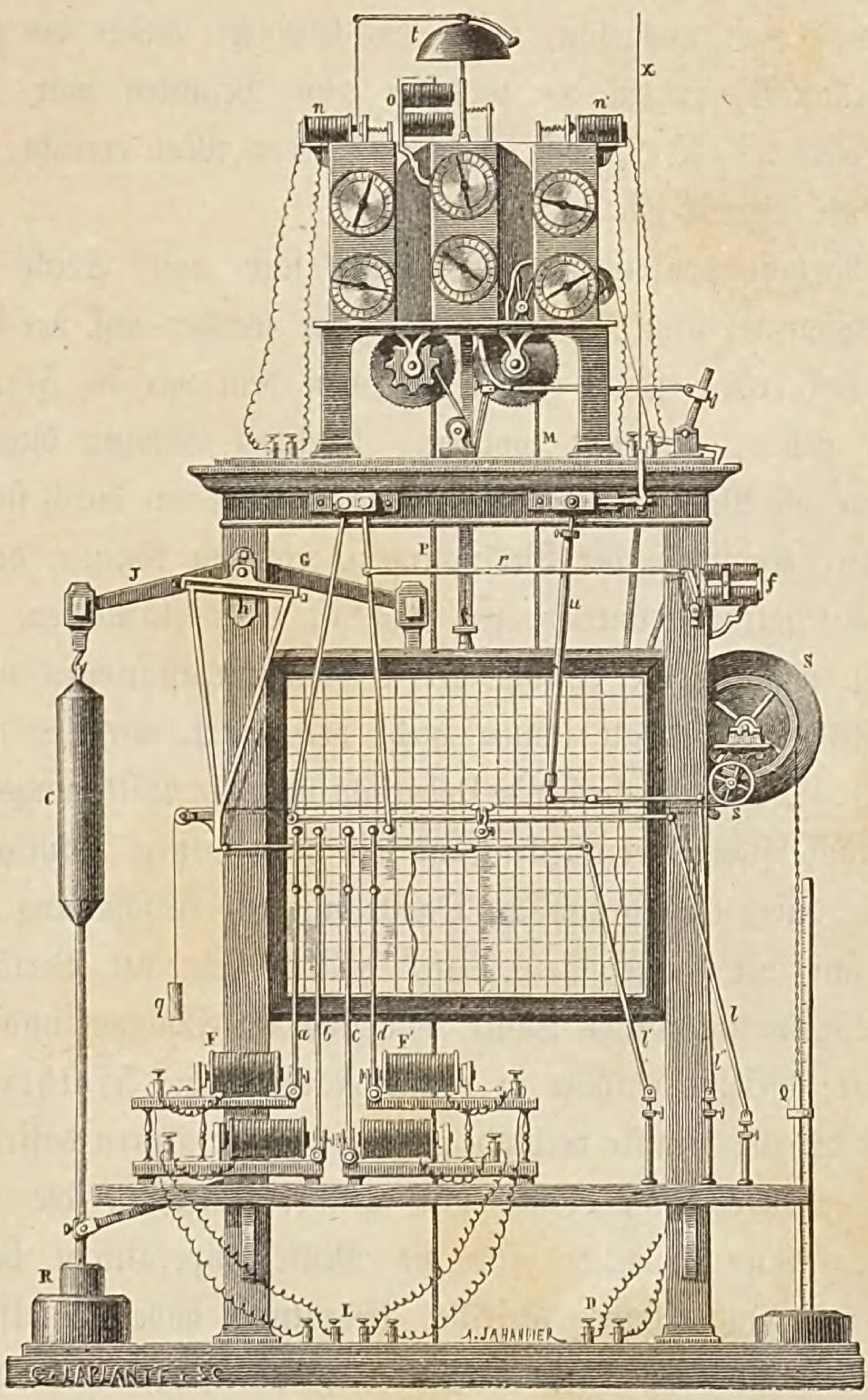


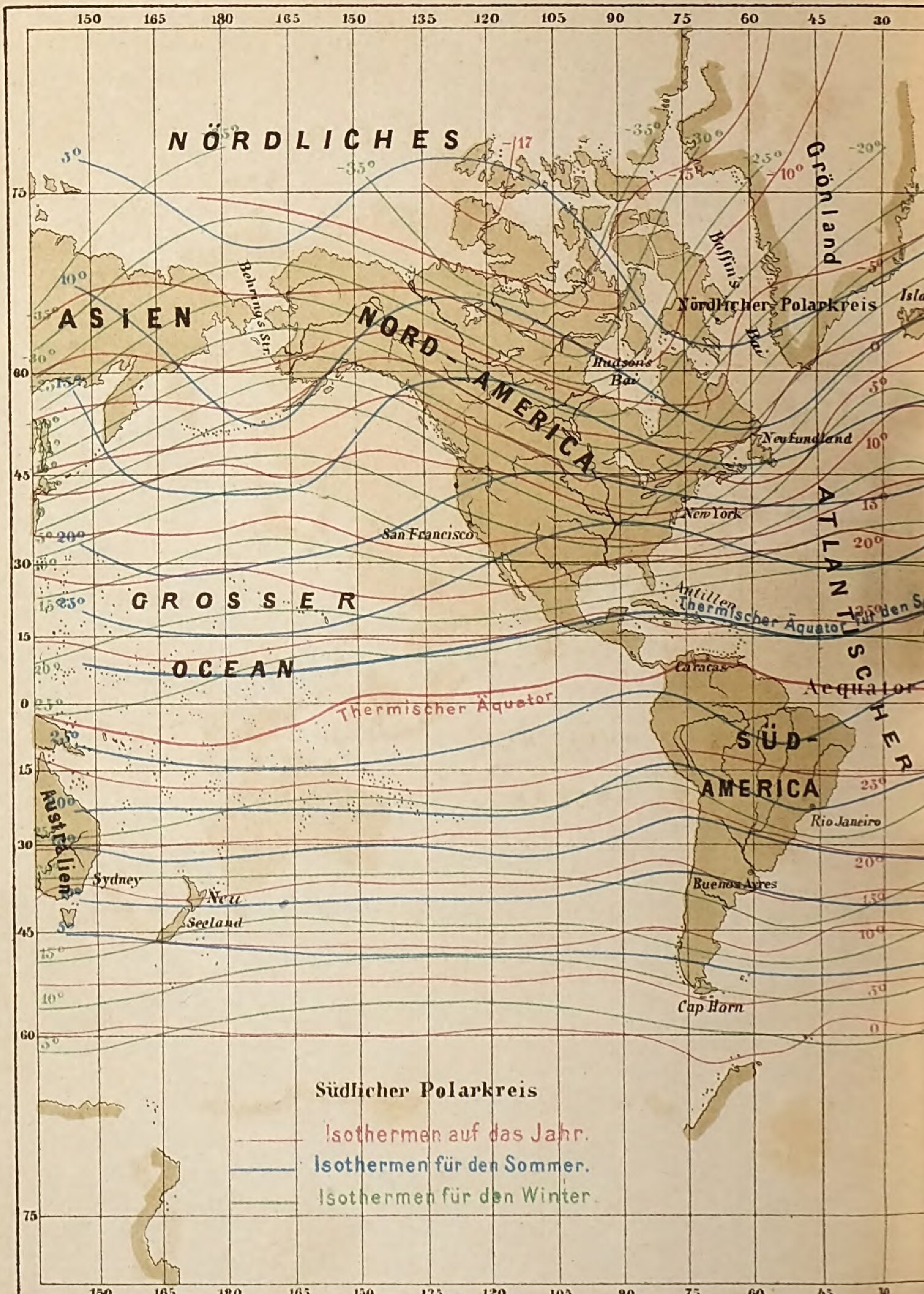
Fig. 410. Meteorograph von Secchi.

aus einer leicht beweglichen senkrechten Axe, welche ein horizontales Kreuz von Stäben trägt: letztere tragen an ihren Enden vier hohle Halbkugeln, die alle nach derselben Seite hin gerichtet sind. Mag nun der Wind wehen, von welcher Seite er wolle, so wird er diese kleine Mühle immer nach derselben Richtung hin in Umdrehung versetzen und zwar

wird die Umdrehungsgeschwindigkeit eine um so größere sein, je intensiver die Luftströmung erfolgt. Mit der Axe ist ein Räderwerk verbunden, durch welches ein Gewicht aufgewunden wird: nach Verlauf einer bestimmten Zeit, gewöhnlich nach zehn Minuten, wird die Höhe, bis zu welcher das Gewicht gehoben ist, registriert, dann aber das Räderwerk für eine kurze Zeit ausgelöst, sodaß das Gewicht wieder bis zum tiefsten Punkte herabsinkt, um in den nächsten zehn Minuten von Neuem gehoben zu werden. Die Höhe, welche es jedes Mal erreicht, dient als Maß für die Windstärke.

Eine Anzahl derartiger Instrumente sind von Secchi zu einem einzigen Apparate, dem Meteorographen, welcher auf der Ausstellung zu Paris den ersten Preis erhielt und von dem wir in Fig. 410 eine Abbildung geben, vereinigt worden. Welchen Gewinn durch derartige Instrumente die Meteorologie haben wird und wie wir durch sie allmählich eine genauere Kenntniß der Bedingungen erlangen können, denen unsere Witterungsverhältnisse unterworfen sind, ist leicht einzusehen.

Und so wie sich die Anzahl der Beobachtungsstationen und der in Dienst gestellten Apparate immer mehr vergrößert, wird es auch immer besser gelingen, eine vergleichende Uebersicht über die Witterungsverhältnisse an der Erdoberfläche herzustellen und die gewonnenen Resultate in ähnlicher Weise durch eine graphische Darstellung zur Anschauung zu bringen, wie dies auf der beigefügten Tafel XVIII mit der Vertheilung der mittleren Wärme im ganzen Jahre, wie auch im Sommer und im Winter geschehen ist: dieselbe enthält in rother Färbung die Isothermen, d. h. die Linien, die alle Punkte verbinden, deren Temperaturen dasselbe Jahresmittel geben, dagegen in blauer und grüner Färbung die Isotheren und Isochimenen, welche für die Mitteltemperaturen bezüglich im Sommer und im Winter dieselbe Bedeutung haben. Also auch in diesem Gebiete sind die Hilfsmittel, welche die Physik bei dem großen Aufschwunge, den sie in den letzten Jahrzehnten genommen hat, zur Verfügung stellt, mächtige Hebel für die Förderung wissenschaftlicher Bestrebungen.



Lith. Anst. v. H. Arnold, Leipzig.

VERTHEILUNG DER WÄRME

ISOTH



Verlag von Paul Frohberg, Leipzig.

F DER ERDOBERFLÄCHE

MEN.

Zehntes Kapitel.

Erzeugung der elektrischen Ströme.

§ 1. Die magnetoelektrischen Maschinen.

So lange man für die Erregung der elektrischen Ströme nur die galvanischen Elemente zur Verfügung hatte, war es nicht möglich, den Apparaten, die eine stärkere elektrische Kraft erfordern, eine allgemeinere Verwendung zu verschaffen, da die Kosten des Betriebes sich allzuhoch stellten. Selbst das elektrische Kohlenlicht konnte damals nur zu Schaustellungen benutzt werden und somit noch nicht die Bedeutung erlangen, auf die es vermöge seiner Mächtigkeit Anspruch hatte. Aber auch die Inductionsströme, die sich in Drahtrollen bilden, wenn dieselben vor den Polen von Magneten kreisen, waren lange nicht kräftig genug, um bedeutendere Wirkungen hervorzurufen, so lange die magnetoelektrischen Maschinen noch von bescheidenem Umfange waren, und erst, als man durch Vermehrung der Magnetpole und der Spulen die Kraft sehr wesentlich steigerte, konnte man Erfolge erzielen, die den Anforderungen genügten. Allein auch solche Maschinen, wie wir deren eine in Fig. 389 abgebildet und auf Seite 652 beschrieben haben, waren so kostspielig und ihre Unterhaltung erforderte einen solchen Kraftaufwand, daß man sie nur dort zur Anwendung bringen konnte, wo der Geldaufwand nicht wesentlich in das Gewicht fällt.

Man mußte daher danach trachten, die Maschinen möglichst zu vereinfachen und dafür zu sorgen, daß die magnetische Kraft in höherem Maße ausgenutzt werde: eine Aufgabe, welche auf zwei verschiedenen Wegen gelöst worden ist, nämlich durch den Siemens'schen Inductionscylinder und den Pacinotti-Gramme'schen Ring.

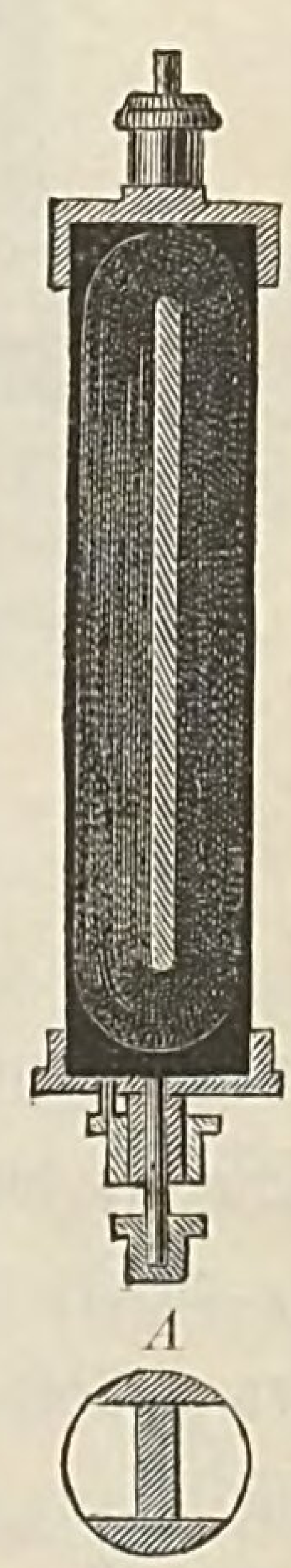


Fig. 411. Siemens'scher Inductions-Cylinder.

Der Inductions-Cylinder (Fig. 411), den Werner Siemens im Jahr 1857 erfand, besteht aus einem langen Eisencylinder, welcher von zwei entgegengesetzten Seiten her so tief ausgeschnitten ist, daß nur eine schmale Mittel-

pole N auf der einen, alle Südpole S auf der anderen Seite liegen. Zwischen diesen Polen dreht sich eine Trommel, welche im Kreise herum eine Reihe von Drahtwindungen enthält, die mit den beiden Leitungsblechen durch den Collector P in Verbindung gesetzt werden, einem Apparate, welcher immer die Ströme gleicher Richtung demselben Bleche zuführt. Durch die Bürsten R wird schließlich der Strom in die Leitung L übergeführt.

Das zweite Mittel, durch welches eine vollkommenere Ausnützung der magnetischen Kraft erzielt wird, ist der Inductionsring, den Pacinotti bereits im Jahre 1860 erfunden hatte, ohne daß jedoch diese Erfindung weiter bekannt und beachtet worden wäre; erst im Jahre 1871 kam Gramme auf dieselbe Construction, sicher, ohne daß er von Pacinotti's Erfindung etwas gewußt hat. Um die Wirkung des genannten Apparates einigermaßen zu begreifen, denken wir uns einen eisernen Ring (Fig. 413), welcher von Drahtwindungen umgeben ist und zwischen den Polen n und s eines Magneten in der Richtung der Pfeile in Umdrehung versetzt wird. Bei dieser Drehung werden sich die Windungen, die sich auf der rechten Seite bei i' befinden, vom Südpole entfernen und dem Nordpole nähern: in ihnen entstehen daher Ströme, die mit den Strömen am Südpol gleich, denen am Nordpol entgegengesetzt gerichtet sind, die also den Eisenkern rechtsdrehend umkreisen. Da sich die linke Seite bei i vom Nordpole entfernt und dem Südpole nähert, so verlaufen in ihr die Ströme in entgegengesetzter Richtung. Wenn man nun auf der rechten Hälfte die beiden Enden eines Leitungsdrahtes so anbrächte, daß die Drahtwindungen des Ringes in der Nähe des Nordpoles gegen das eine Ende, in der Nähe des Südpoles gegen das andere Ende schleifen, so kann der inducierte Strom in jene Leitung übergehen und durchläuft sie von dem Berührungspunkte in der Nähe des Nordpoles bis zu dem in der Nähe des Südpoles. Das Gleiche würde in einer Leitung erfolgen, welche auf der entgegengesetzten Seite eingeschaltet wäre.

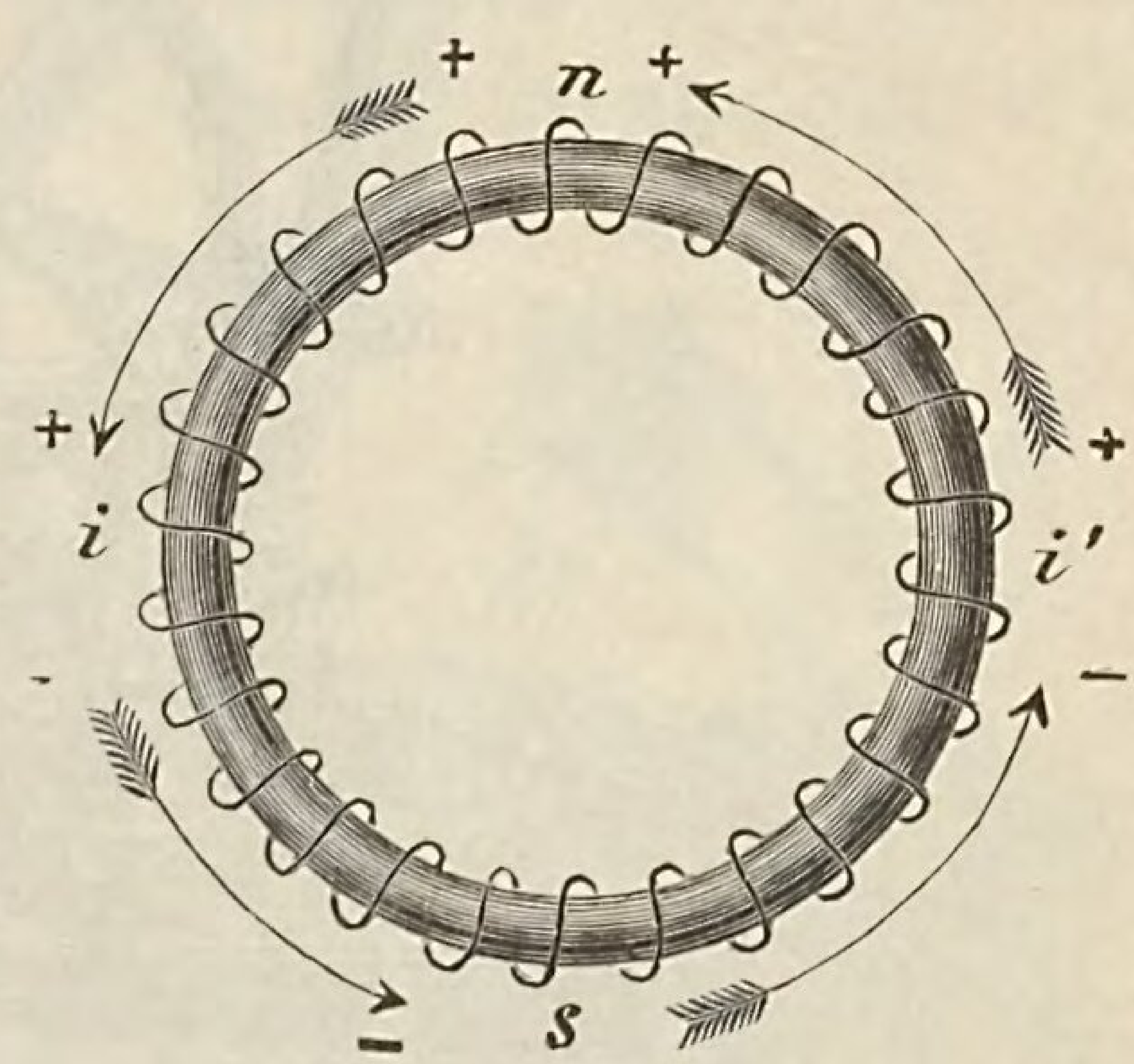


Fig. 413. Pacinotti-Gramme's Ring.

An Stelle einer einzigen, in sich zurücklaufenden Spirale, wie in der mehr schematischen Zeichnung Fig. 413 dargestellt ist, trägt der Pacinotti-Gramme'sche Ring eine Reihe einzelner Spiralen, die im Kreise herum vertheilt auf dem Ringe aufsitzen, von einander aber unabhängig sind. Die Enden einer jeden Spirale sind mit einem Sammelapparate oder Collector so verbunden, daß der Strom, der in der Spirale entsteht, wenn sie sich dem einen Pole nähert und vom anderen entfernt, durch Leitungsbleche in der gewünschten Richtung in die

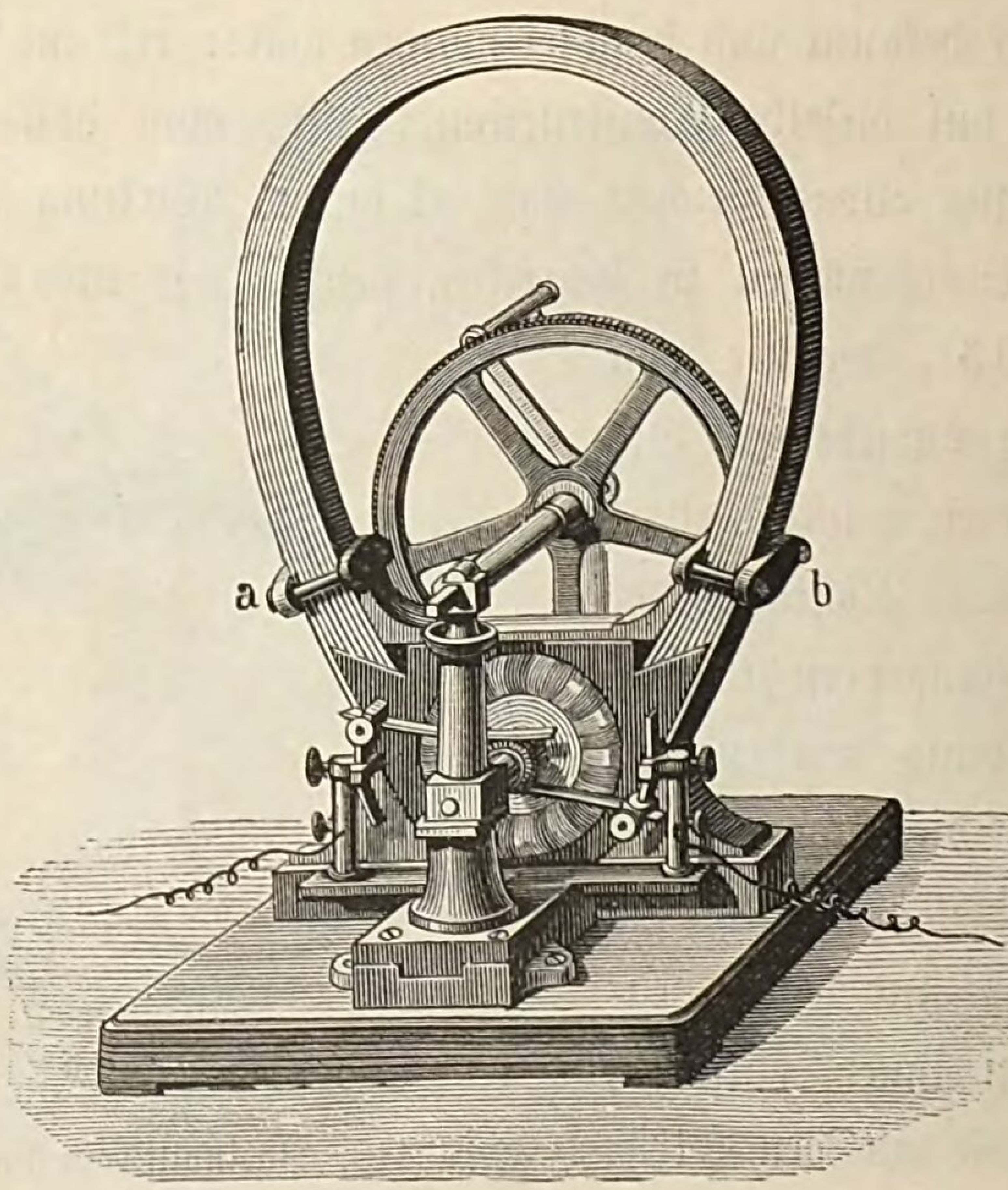


Fig. 414. Handmaschine von Gramme.

Leitung übergeht. Fig. 414 zeigt eine kleinere Handmaschine von Gramme, die zur Vorführung der Versuche in Schulen und Hörsälen recht geeignet ist. Wir sehen einen hufeisenförmigen Blättermagnet, dessen Construction von Jamin herrührt, zwischen den Klammern a b aufgestellt, vor dessen Polen am unteren Ende der Inductionsring liegt, welcher durch eine Riemen-Uebertragung in Umlauf gesetzt wird.

§ 2. Die dynamoelektrischen Maschinen.

Ein ungemein wichtiger Schritt zur Vervollkommnung der elektrischen Motoren war die Einführung des dynamoelektrischen Princips, nach

welchem die Stahlmagnete durch Elektromagnete ersetzt werden, welche durch den inducierten Strom selbst erst ihre Kraft gewinnen. Es ist eine bekannte Thatsache, daß ein Stück Eisen, welches einmal magnetisiert war, seinen Magnetismus auf lange Zeit hin nicht vollständig verliert. Läßt man nun diesen kleinen zurückgebliebenen Rest auf eine Inductionsspirale wirken, welche mit Drahtwindungen, die das inducierende Eisenstück umkreisen, in eine solche Verbindung gesetzt ist, daß der inducierte Strom immer in derselben Richtung verläuft, so kräftigt der letztere den vorhandenen Magnetismus. Hierdurch werden aber auch wieder stärkere Inductionsströme hervorgerufen, welche den Magnetismus weiter steigern, bis nach einigen Umdrehungen ein Maximum erreicht ist, das nicht überschritten werden kann, weil der Magnetismus des Eisenkernes in den Zustand der Sättigung gelangt ist.

So sehen wir bei der Dynamomaschine von Ladd (Fig. 415) zwei breite, flache Eisentafeln B und D, welche von Drahtspiralen umwunden sind, aus denen sie bei C und C′ hervorragen. Zwischen diesen Vorsprüngen, welche als die Magnetpole anzusehen sind, liegen beiderseits Inductionscylinder m und n, welche durch einen Schnurlauf gleichzeitig in Umdrehung versetzt werden. Der Cylinder n steht nun durch den Stromwender F mit den Windungen der Elektromagneten B und D in Verbindung und sendet seine Ströme in dieselben, wodurch der Magnetismus der Eisenkerne gesteigert wird, während der Cylinder m die Ströme durch F′ in die Leitung sendet, in der die beabsichtigte Wirkung herbeigeführt, z. B., wie in der Abbildung, ein Bogenlicht entzündet werden soll.

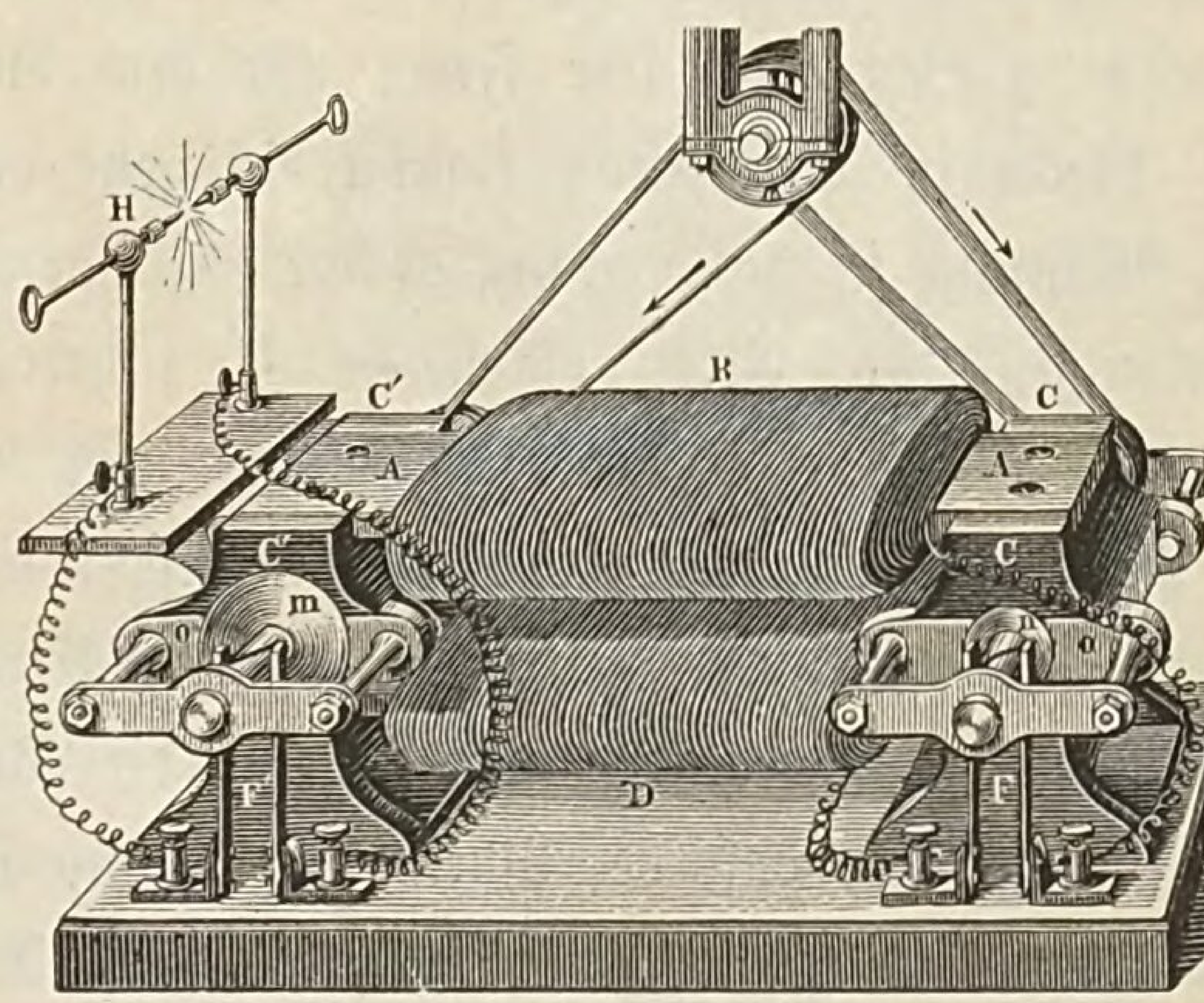


Fig. 415. Dynamomaschine von Ladd.

Noch einfacher ist der Dynamoinductor von Siemens (Fig. 416), bei welchem ein einziger Inductionscylinder J beiden Zwecken dient, indem er seine Ströme sowohl durch die Windungen des Elektromagne-

ten E, als auch durch die Leitung sendet. Bei C_1 schleifen nämlich zwei Metallfedern oder Bürsten 1 und 2 auf der Axe, welche an beiden Stellen mit je zwei Leitungsblechen bedeckt sind, von denen jedes nicht ganz bis zur Hälfte um die Axe herumreicht und mit einem Ende der Drahtleitung des Inductors verbunden ist. Die Anordnung muß hierbei so getroffen sein, daß die Feder 1 so lange mit dem Bleche in Berührung bleibt, das mit dem einen Ende der Inductionsspirale in Verbindung ist, als die Feder 2 auf dem Bleche schleift, zu dem das andere Ende der Spirale führt. Da bei jeder halben Umdrehung die Stromrichtung in dem Inductionscylinder sich umkehrt, gleichzeitig aber auch jede Feder mit dem anderen auf der Axe befestigten Bleche in Berührung kommt, so geht der Strom immer in derselben Richtung in die Leitungsdrähte c d über, welche nun zu den Drahtwindungen des Elektromagneten E führen. An den Ständern a b, welche die Federn tragen, sind weiter zwei Klemmschrauben angebracht, in welche die Drähte der Leitung eingesetzt werden, durch die der Strom gesendet werden soll. Eine ganz ähnliche Einrichtung haben die Dynamomaschinen, welche benutzt werden, um die Läutewerke an den Eisenbahnen auszulösen, nur daß bei ihnen die Leitung erst nach einigen Umdrehungen durch das Heben einer Feder eingeschaltet wird, nachdem der Magnetismus schon bis zu einem höheren Grade gesteigert worden ist.

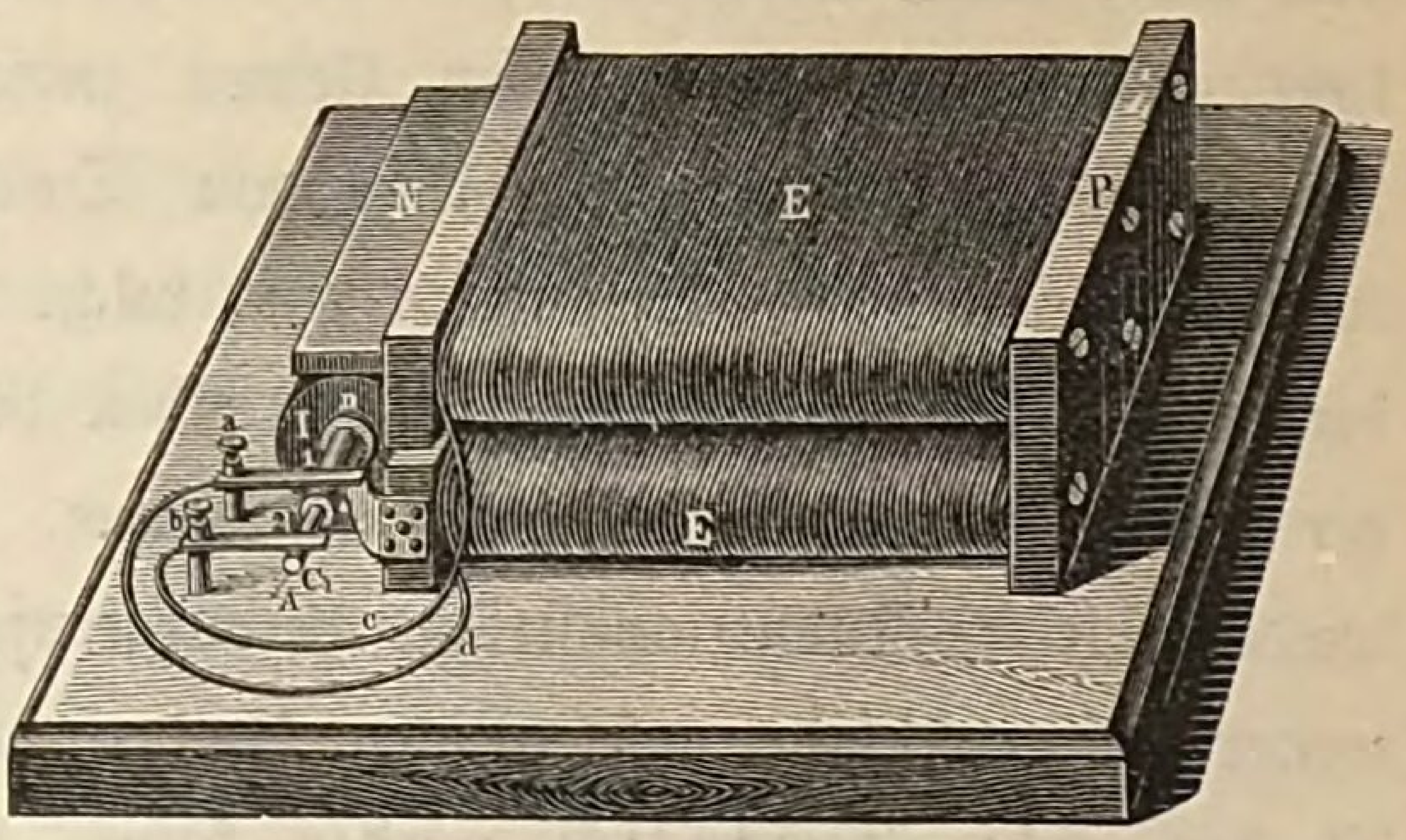


Fig. 416. Dynamoinductor von Siemens.

Wir haben uns auf die Beschreibung der einfachsten Formen der dynamoelektrischen Maschinen beschränkt: die größeren Apparate, mit denen jetzt so bedeutende Erfolge erzielt werden, unterscheiden sich, abgesehen davon, daß bei einigen an Stelle des Inductionscylinders der Pacinotti-Gramme'sche Ring eingeführt ist, im Wesentlichen nur dadurch von jenen, daß die Zahl der Elektromagnete und der Inductoren vermehrt ist; hierdurch werden aber derartige Maschinen so compliciert, daß eine kurze Beschreibung ihre Wirkung nicht in voller Klarheit zu erläutern vermag.

Daß ein Zweig der Technik binnen einer so kurzen Spanne Zeit einen solchen Aufschwung genommen hat, wie die Anwendung der elektrischen Ströme, steht ohne jeden Vergleich einzig in der Geschichte der Kultur da, und wir können wohl sagen, daß unser Zeitalter auf diesem Gebiete Siege errungen hat, wie sie keine, auch noch so große Zeit der Weltgeschichte aufweisen kann. Die ausgedehnteste Anwendung findet auch jetzt noch der elekrische Strom bei der Erzeugung des elektrischen Lichtes, und schon werden, wie in Berlin, ganze Stadttheile von einem Centralpunkte aus mit Strömen versorgt, die Hunderte von Lampen speisen; schon werden viele Fabrikräume durch dieses Licht erleuchtet zum Besten der Arbeiter, für deren Gesundheit die Verbrennungsprodukte anderer Lampen nicht besonders förderlich waren. Daß ferner die Anwendung dieser stärksten künstlichen Lichtquelle auf Leuchtthürmen und Schiffen manche Gefahr abwenden kann, und daß namentlich auch die Feuersgefahr für die Gebäude, die gleichzeitig viel Menschen in sich schließen, wie Theater, Concerthäuser u. dergl. sehr verringert wird, das ist gewiß sehr hoch anzuschlagen.

Was die Verwendung des elektrischen Stromes zur Gewinnung von mechanischer Kraft anlangt, so ist dieselbe bisher doch nur in beschränkterem Maße möglich gewesen. Zwar sind die dynamoelektrischen Ströme auf einigen Telegraphenlinien, auf denen es galt, große Widerstände zu überwinden, selbst zum Betriebe von Morse-Telegraphen mit gutem Erfolge angewendet worden, und bekannt ist, daß Siemens und Halske schon im Jahre 1881 Berlin mit der Cadettenanstalt zu Lichterfelde durch eine elektrische Bahn verbunden haben, nach deren Muster auch anderwärts, z. B. zwischen Turin und Mailand, ähnliche Verbindungen hergestellt wurden: allein der Anwendung der Ströme als eigentliche Triebkraft stellen sich einige Schwierigkeiten entgegen, die zur Zeit noch nicht genügend überwunden worden sind. So ist es z. B. noch nicht gelungen, zu verhindern, daß sich bei Anwendung größerer Kraft die Drähte, namentlich in den Spiralen, stark erhitzen und daß sich die Contacte ziemlich schnell abnutzen, und auch die Isolierungen hat man noch nicht so vollkommen herstellen können, daß nicht ein ziemlich beträchtlicher Theil der Kraft verloren geht. Wenn es einmal gelungen sein wird, diese Uebelstände zu heben, und wenn man namentlich erst im Stande sein wird, die elektrischen Ströme ohne zu großen Verlust

meilenweit fortzuleiten, sodaß man z. B. daran denken kann, die Wasserkräfte, die sich so häufig in den Gebirgen vorfinden und dort nicht vollkommen ausgenutzt werden können, zum Betriebe dynamoelektrischer Maschinen zu verwenden, dann wird der Verwendung der Elektricität als Triebkraft sicher noch eine große Zukunft erblühen.

Weit günstigere Resultate hat die Benutzung des Stromes zu chemischen Zwecken ergeben. So sind z. B. in Oker a. H. drei Maschinen von Siemens und Halske aufgestellt, durch deren jede täglich 5—6 Centner reines Kupfer abgeschieden werden. Auch in der Galvanoplastik haben die Inductionsströme namentlich durch die Firma Christofle u. Co. in Paris Eingang gefunden, und das Verfahren ist dabei so vereinfacht worden, daß leicht oxydierbare Metalle vielfach nur noch verarbeitet werden, wenn sie mit einem Ueberzuge von beständigeren Metallen bekleidet sind. Drähte zu Tressen und Borten werden durch Inductionsströme vergoldet und versilbert, und zwar ist ein auf diesem Wege hergestellter Ueberzug viel gleichmäßiger und haltbarer, als ein nach altem Verfahren angefertigter. Endlich wollen wir noch einer eigenthümlichen Anwendung erwähnen, die René in Stettin vom Strome macht: derselbe benutzt nämlich die inducierte Elektricität, um Sauerstoff in Ozon zu verwandeln, durch dessen Einwirkung dem zum Pianofortebau verwendeten Holze eine größere Dauerhaftigkeit verliehen wird.

§ 3. Der Accumulator.

Zum Schlusse wollen wir noch einen Apparat erwähnen, durch den es möglich ist, die elektrische Kraft beliebig zu versenden und sie geradezu als ein Kaufobjekt herzustellen, nämlich den Accumulator, der von Planté und Faure erfunden wurde. Derselbe gleicht in seiner Form einem galvanischen Elemente aus zwei Bleiplatten, die in verdünnte Schwefelsäure tauchen. Beide Platten sind von einander isoliert und ursprünglich mit Bleioxyd (Bleiglätte) überzogen. Um den Accumulator zum Gebrauche vorzurichten, wird längere Zeit ein Strom durch ihn hindurchgesendet, der das in der Säure enthaltene Wasser zersetzt: dadurch wird an der Platte, die den negativen Pol bildet, das Bleioxyd durch den sich ausscheidenden Wasserstoff reduciert, sodaß sich metallisches Blei bildet, am positiven Pole dagegen verwandelt der austretende

Sauerstoff das Bleioxyd in Bleisuperoxyd (Mennige). Ist diese Verwandlung in genügendem Grade erfolgt, so kann nun der so geladene Accumulator als sehr kräftiges galvanisches Element dienen: schaltet man zwischen beide Platten eine Leitung ein, so kreist in derselben ein Strom in der Richtung von der mit Superoxyd bedeckten zur metallischen Platte. Dieser Strom selbst aber, welcher mit dem ursprünglichen, ladenden Strome entgegengesetzte Richtung hat, bewirkt nun, daß das metallische Blei sich wieder oxydiert, das Superoxyd dagegen Sauerstoff verliert. Wenn daher der Strom eine gewisse Zeit angedauert hat, so sind beide Platten wieder gleichmäßig mit Bleioxyd bedeckt und die elektrische Spannung ist verschwunden: der Accumulator ist, wie man sich ausdrückt, entladen und muß auf's Neue geladen werden, bevor er wieder in Gebrauch gestellt werden kann. Um möglichst kräftige derartige secundäre Elemente zu gewinnen, wendet man sehr lange Bleiplatten an, die durch Kautschukstreifen von einander isoliert und zu einer Spirale aufgewickelt sind; auch mag die Anwendung einer anderen Platte, z. B. von Kupfer an Stelle der Bleiplatte, die schließlich als positiver Pol gilt, und einer anderen Flüssigkeit, im vorliegenden Falle etwa Kupfervitriol in Lösung, wie von Sutton empfohlen wurde, noch bessere Wirkung ergeben. Welchen Vortheil die Anwendung der Accumulatoren gewährt, ersieht man aus einer Rechnung, die Huber angestellt hat: derselbe findet, daß sich beim Betriebe der Straßenbahn von Hamburg nach Barmbeck mit dieser Triebkraft die Kosten nur zwei Drittel so hoch stellen, als bei der Verwendung von Pferden.

Wenn sich einmal, wie man wohl voraussetzen darf, die Elektrotechnik in nicht gar ferner Zeit noch weiter entwickelt hat, dann steht namentlich zu hoffen, daß das Kleingewerbe durch dieselbe wieder einen höheren Aufschwung nehme: und hier findet auch das Großkapital ein Feld, auf dem es nutzbringende Anlagen schaffen kann, durch welche jenes nicht blos nicht geschädigt, sondern sogar wesentlich gefördert würde. So wie jetzt schon ganze Stadttheile mit Licht versorgt werden, so wird wohl auch einmal die Zeit kommen, wo die elektrische Kraft an einer Centralstelle erzeugt und durch ein ausgebreitetes Drahtnetz in die einzelnen Häuser geleitet wird, um dort die kleineren Maschinen, bis auf die Nähmaschine herab, zu treiben: oder auch es entstehen Fabriken, in denen Accumulatoren angefertigt, geladen und dann zum Betriebe der

Maschinen verliehen werden, um später, wenn sie ihre Kraft abgegeben haben, nach jenen zurückgesendet und von Neuem geladen zu werden. Auf diesem Wege kann vielleicht die brennende Frage unserer Zeit, wie sich das Kleingewerbe dem Fabrikwesen gegenüber erhalten kann, eine sehr friedliche Lösung finden.

Druck von Otto Dürr in Leipzig.

Leipzig, Druck von Otto Dürr.

Guillemin, A.

Die physikalischen Kräfte im Dienste der Gewerbe, der Kunst und der Wissenschaft Nach A. Guillemin für das Verständniß weiterer Kreise bearb. von L. Rudolf Schulze. Mit 416 Holzschn., 15 großen Abbild. außerhalb des Textes u. 3 Buntdruckkarten

Braunschweig 1889